

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ENGENHARIA QUÍMICA

EDSON MAIKON DA ROCHA

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA NO PROCESSO DE
RECUPERAÇÃO DA GRANALHA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2020

EDSON MAIKON DA ROCHA

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA NO PROCESSO DE
RECUPERAÇÃO DA GRANALHA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de graduação em Bacharel em Engenharia Química do Departamento de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Frasson.

Co-Orientador: Prof. Dr. Alvaro Luiz Mathias.



PONTA GROSSA

2020



TERMO DE APROVAÇÃO

Análise Técnica e Econômica no Processo de Recuperação da Granalha

Por

Edson Maikon da Rocha

Monografia apresentada no dia 17 de novembro de 2020 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Cesar Arthur Martins Chornobai
(UTFPR)

Prof. Dra. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli
(UTFPR)

Profa. Dr. Antonio Carlos Frasson
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Juliana de Paula Martins
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar dificuldades. A Universidade Tecnológica do Paraná, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram excelência em acessória academia, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes. Ao meu orientador Doutor Antonio Carlos Frasson pelo suporte suas correções e incentivo. A minha mãe e minha irmã, pelo amor, incentivo e amor incondicional. E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Dedico este trabalho a Deus, e a minha mãe
nesta jornada.

RESUMO

ROCHA, Edson Maikon da. **ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA NO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DA GRANALHA**. 2020 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

O presente trabalho buscou identificar o custo benefício dos três tipos de equipamentos mais utilizados no tratamento de contaminantes provenientes do processo de jateamento com granalha. Entre eles estão o Ciclone, Filtro manga e Precipitador eletrostático por apresentaram performances diferentes nos quesitos abrangidos pela pesquisa que foram o econômico. A pesquisa foi estruturada a partir de referenciais teóricos para verificar as potenciais vantagens e desvantagens de cada equipamento (considerando, aqui, o valor de implantação/operacionalização num período de dez anos), contando, para isso também, com visitas técnicas na indústria em análise. Como resultado, apurou-se que o custo e desempenho dos tratadores de resíduos em suspensão, oriundos do procedimento de tratamento com granulares, podem se mostrar mais promissores em situações específicas, assim, na maioria dos casos, o Filtro manga apresentado, de modo geral, maiores benefícios entre os comparados na análise desta pesquisa.

Palavras-chave: Jateamento com granalha. Equipamento Ciclone. Filtro Manga. Precipitador Eletrostático. Custo-benefício.

ABSTRACT

ROCHA, Edson Maikon da. **TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS IN THE GRENACK RECOVERY PROCESS**. 2020 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (CHEMICAL ENGINEERING) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

The present work sought to identify the cost benefit of the three types of equipment most used in the treatment of contaminants from the shot blasting process. Among them are the Cyclone, Sleeve filter and Electrostatic Precipitator for they presented different performances in the areas covered by the research, which were economic. The research was structured based on theoretical references to verify the potential advantages and disadvantages of each equipment (considering, here, the value of implementation / operation in a period of ten years), counting, for this also, with technical visits in the industry under analysis. As a result, it was found that the cost and performance of suspended waste handlers, coming from the granular treatment procedure, can be more promising in specific situations, I try, in most cases, the Sleeve filter presented, in general, greater benefits among those compared in the analysis of this research.

Keywords: Shot blasting. Cyclone equipment. Filter sleeve. Electrostatic precipitator. Cost benefit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|--------------|
| Figura 1– Esquerda granalha tipo shot e direita granalha tipo grit..... | 11 |
| Figura 2- Esquema do fluxo de gás dentro de um ciclone padrão. | 12 |
| Figura 3- Fluxo de ar do filtro..... | 15 |
| Figura 4- Filtro de Mangas Pulse Jet. | 176 |
| Figura 5- Manga Filtrante. | 18 |
| Figura 6- Manga Filtrante. | 188 |
| Figura 7- Limpeza via ar comprimido... | 18 |
| Figura 8 - Princípio elétrico de um precipitador eletrostático. | 211 |
| Figura 9 - Tipos de precipitadores: (a) simples estágio; (b) duplo estágio. | 22 |
| Figura 10 - Área de aguardo e rolamento para o jateamento..... | 29 |
| Figura 11 - Linha de ar comprimido e compressores.... | 290 |
| Figura 12 - Câmara de granalha..... | 31 |
| Figura 13 - Interior da câmara de jato.. | 312 |
| Figura 14 - Parafuso transportador/ saída do Jateamento; Parafuso transportador/ saída do Jateamento. | 322 |
| Figura 15 - Transportador de caneca. | 323 |
| Figura 16 - Compressor hospitalar..... | 334 |
| Figura 17 - Filtro linha de “ar mandado”..... | 34 |
| Figura 18 - Exaustores e EPI's. | 355 |
| Figura 19 - Duto 1. | 356 |
| Figura 20 - Exaustão câmara de jato.. | 366 |
| Figura 21 - Duto 2. | 377 |
| Figura 22 - Exaustão do duto de retorno da granalha utilizada no jato..... | Erro! |
| Indicador não definido.7 | |
| Gráfico 1 - Preços dos materiais componentes das mangas..... | 42 |
| Gráfico 2 - Custo de instalação de um Filtro de Mangas... .. | 44 |
| Gráfico 3 - Custo de instalação de um Precipitador Eletrostático..... | 45 |
| Gráfico 4 - Custo de coletores de pó mecânicos secos, coletores de precipitadores eletrostáticos de alta tensão. | 46 |
| Quadro 1 - Relação entre separadores de partículas e suas respectivas dimensões. | 24 |
| Quadro 2 - Fluxograma do processo de jateamento. | 38 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1- Eficiência do Filtro Manga para material particulado. | 145 |
| Tabela 2 - Referência de aplicação das Mangas Filtrantes. | 20 |
| Tabela 3 - Características das Mangas Filtrantes. | 20 |
| Tabela 4 - Eficiência fracionada de coletores de material particulado em função da distribuição de tamanho das partículas (em porcentagens). | 255 |
| Tabela 5 - Parâmetros sobre equipamentos Ciclone, Precipitador Eletrostático e Filtro de Mangas.... | 40 |
| Tabela 6 - Comparação entre os equipamentos de controle. | 40 |
| Tabela 7 - Custo individual dos equipamentos separadores de partículas.... | 411 |
| Tabela 8 - Cálculos dos custos de dois tipos de manga. | 422 |
| Tabela 9 - Custo total anual manga Polipropileno e Ryton. | 433 |
| Tabela 10 - Custos totais do equipamento Ciclone..... | 47 |
| Tabela 11 - Custos totais do equipamento Filtro Manga..... | 488 |
| Tabela 12 - Custos totais do equipamento Precipitador Eletrostático..... | 49 |

LISTA DE SIGLAS

µm – Micrómetro
Kv – Kilo Volte
Kg – Kilograma
PSI – Libra por polegada quadrada
SCFM – Standard cubic feet per minute

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 7 |
| 1.1 PROBLEMÁTICA | 8 |
| 1.2 OBJETIVOS | 8 |
| 1.2.1 Objetivo Geral | 8 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 8 |
| 1.2.3 Justificativa | 9 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 9 |
| 2.1 JATEAMENTO | 9 |
| 2.2 GRANALHA | 10 |
| 2.3 EQUIPAMENTOS DE JATEAMENTO | 11 |
| 2.3.1 Ciclone | 11 |
| 2.3.2 Filtro Manga | 14 |
| 2.3.2.2 Mangas Filtrantes | 18 |
| 2.3.2.3 Materiais que constituem as Mangas Filtrantes | 19 |
| 2.3.3 Precipitador Eletrostático | 21 |
| 2.3.4 Aparelho de Depuração Úmida | 23 |
| 2.4 COMPARAÇÃO ENTRE EQUIPAMENTOS | 24 |
| 2.5 SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTO | 25 |
| 2.5.1 Relação Custo/ Benefício | 26 |
| 2.6 VIDA ÚTIL DO EQUIPAMENTO | 26 |
| 3 METODOLOGIA | 27 |
| 4 ANÁLISE E RESULTADOS | 28 |
| 4.1 PROCESSO DE JATEAMENTO | 28 |
| 4.1.1 Sistema de jateamento da granalha | 28 |
| 4.1.2 Sistema de Reutilização da Granalha | 31 |
| 4.1.3 Tratamento de ar | 35 |
| 4.2 Análise do processo | 38 |
| 4.2.1 Fluxograma do processo | 38 |
| 4.3 ANÁLISE DO SISTEMA DE JATEAMENTO | 39 |
| 4.4 CABINE DE JATEAMENTO | 39 |
| 4.4.1 Cálculos e Balanço do Ciclone | 39 |
| 4.5 ANÁLISE DOS EQUIPAMENTOS | 40 |
| 4.5.1 Análise do equipamento Ciclone | 41 |
| 4.5.2 Análise do Filtro Manga | 41 |
| 4.5.2.1 Custos totais do aparelho Filtro Manga | 41 |

| | |
|---|----|
| 4.6 CÁLCULOS DE ENGENHARIA ECONÔMICA | 47 |
| 4.7 ANÁLISE GERAL | 47 |
| 4.7.1 Considerações iniciais para os cálculos | 47 |
| 4.7.2 Análise dos custos totais | 47 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 50 |
| REFERÊNCIAS | 52 |

1 INTRODUÇÃO

No ramo da engenharia química e civil é possível encontrar empresas que atuam na construção e montagens industriais utilizando um processo denominado “jateamento com granalha” para a adequação de superfícies metálicas e posterior tratamento ou pintura, atendendo aos requisitos normativos para a área.

O jato com granalha consiste na aplicação de ar comprimido emitido com alta pressão, com elementos metálicos (granalha) capazes de promover o lixamento de uma base ou superfície¹. Esse processo é empregado com maior eficácia nas seguintes situações: limpeza, rebarbação, preparação para pintura ou aplicação de revestimentos, acabamento final e shot-peening em peças fundidas, injetadas e forjadas em alumínio e suas ligas; peças injetadas com zinco e suas ligas; metais não ferrosos e outras ligas especiais; peças fundidas e forjadas em aço inox, construção de máquinas e instalações em aço inox, indústria de transformação de pedras e concreto e peças em aço carbono.

Os benefícios deste procedimento consistem na combinação da remoção de contaminantes com a produção de rugosidade em uma só operação, pois no mesmo equipamento, é possível controlar a produção de rugosidades - até o ponto de aplicação de um selador ou mesmo remover uma camada de piso - bastando para isto, alterar algumas variáveis como, tais como, o tamanho da granalha utilizada.

Em contrapartida, o processo de jateamento gera muitos resíduos que, podem tornar o processo menos eficaz, o que justifica a pesquisa e análise de alternativas economicamente mais satisfatórias e viáveis para o setor.

Nesse sentido, dentre os modelos de separadores existentes no mercado, buscou-se analisar o desempenho do equipamento denominado de “Ciclone” para fazer uma comparação e avaliar o melhor custo benefício com técnicas alternativas para o tratamento de emissões atmosférica como equipamentos como filtro manga e precipitador eletrostático.

Essa pesquisa, partiu do embasamento bibliográfico e contou também com informações cedidas por empresas do setor que utilizam a granalha. O tratamento dessas informações resultou na elaboração deste trabalho que está dividido em quatro capítulos.

¹Disponível em: <<http://www.aprietojato.com.br/jateamento/escolha-do-bico-de-jateamento/valores-em-torno-de-100-psi-para-jateamento-industrial>>. Acesso em: 18/03/18.

No primeiro, são apresentados os principais conceitos relacionados ao tema, tais como jateamento e equipamentos que utilizam a granalha e, em seguida, os métodos utilizados pela pesquisa.

O próximo contempla a análise do processo, apresentando os custos e a viabilidade, buscando apresentar os pontos fortes e fracos de cada equipamento ou processo, utilizado comumente nas empresas deste setor.

E por fim, são apresentadas as considerações sobre os resultados obtidos apontando o equipamento com melhor resultado em termos de investimento e retorno para as empresas.

1.1 PROBLEMÁTICA

Determinar o melhor custo e benefício a escolha do equipamento que faz-se o tratamento de emissões atmosféricas, a partir do comparativo da bibliografia existente e de dados fornecidos por uma empresa do ramo industrial, que faz a recuperação de tubulações através do jateamento de granalha. Fazendo-se um estudo detalhado sobre os melhores equipamentos como: ciclone, filtro manga e precipitador eletrostático apresentando suas vantagens e verificando a viabilidade econômica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o processo de tratamento de tubulações na recuperação da granalha na atividade de jateamento, e investigar fazendo simulações de custo e rendimento comparativos com os equipamentos ciclone, filtro manga e precipitador eletrostático.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Estudar os equipamentos, operações unitárias e utilidades que compõem o processo de tratamento da granalha;
- Compreender o processo de jateamento da granalha buscando soluções para otimizá-lo;

- Fazer um levantamento de custo que envolve três processos de tratamento da granalha;
- Contribuir com subsídios para estudos a respeito do processo de jateamento com a granalha.

1.2.3 Justificativa

A análise de custo benefício é uma prática comum em empresas e indústrias que buscam obter maior eficiência nos processos e controle de gastos. Nesse sentido, a presente pesquisa, procurou trazer contribuições a essa temática, realizando um levantamento de dados sobre a viabilidade do emprego de diferentes tipos de equipamentos utilizados no processo de recuperação da granalha no jateamento.

Os modelos de contemplados pela pesquisa são o ciclone, o filtro manga e o precipitador eletrostático utilizados em locais onde há um rigor de controle na emissão e recuperação de materiais particulados.

Portanto, esse trabalho se justifica à medida que busca colaborar com estudos sobre a viabilidade na implantação desses equipamentos industriais, apresentando uma análise de desempenho e viabilidades entre as opções de equipamentos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 JATEAMENTO

O processo de jateamento de superfícies pela utilização de materiais abrasivos surgiu em 1870, a partir de um experimento feito por Tilghman que patenteou este princípio de limpeza feito, inicialmente, com jato de areia.

Segundo Munger (1999): “o jateamento abrasivo oferece maior eficácia de resultados se comparado com o processo manual que corresponde ao lixamento, onde há um desgaste na peça, para posteriormente, realizar um tratamento mecânico a base de tintas mais flexíveis”.

A limpeza com jateamento tem por objetivo a remoção de camadas de impureza presentes na superfície de uma peça, como a ferrugem por exemplo, - que causa corrosão – e

para a qual é utilizando o jateamento com ar comprimido e granalha de aço capaz de devolver a peça sua durabilidade conforme explicam Gentil e Vicente (1996):

A corrosão é um processo de deterioração do material que produz alterações nos elementos estruturais, geralmente materiais ferrosos e em materiais metálicos. O fenômeno da corrosão é um elemento diferente do material original, pois a liga acaba perdendo suas qualidades essenciais, tais como resistência mecânica, elasticidade, ductilidade, estética, etc. (GIL e VICENTE, 1996, p. 5).

Esse procedimento, que antes era feito a céu aberto, passou a ser realizado em ambientes fechados e com pouca ventilação das indústrias ocasionando problemas de saúde nos trabalhadores envolvidos na atividade. Desde então, passaram a ocorrer modificações nesta técnica, que resultaram no aperfeiçoamento de novos tipos de equipamentos e, também, de abrasivos utilizados.

Assim, o jateamento ganhou outras funções como remoção de resíduos de peças após fundição, decapagem mecânicas de metais, acabamento; rebarbação de peças metálicas, plásticos e borrachas; fosqueamento de superfícies plásticas, vidros, metais, cerâmicas; gravação ou decoração e shot peening de metais.

2.2 GRANALHA

Os primeiros estudos sobre a técnica de jateamento com granalhas de aço - denominadas de shot peening - foram realizados por volta do ano de 1927, sendo atribuídos a E.G. Herbert, que buscou comprovar o aumento da dureza superficial ocasionada no material processado (PERINI, 2008).

Essa capacidade de conferir ao objeto trabalhado maior dureza se deve ao fato de que a granalha é um abrasivo resultante do processo de fusão de componentes químicos controlados, resultando em partículas arredondadas denominadas de shot ou partículas maiores formadas por aço angular chamadas de grit, vide Figura 1.

Figura 1– Esquerda granalha tipo shot e direita granalha tipo grit



Fonte: Deumex do Brasil (2018).

As partículas esféricas apresentam diferentes aplicações na indústria sendo utilizadas principalmente na preparação de superfícies de peças e equipamentos, por possuir maior durabilidade. Já as partículas grit, apresentam melhor desempenho quando empregadas em procedimentos de jateamento que exigem cortes agressivos.

Por isso, Schulze (2006) destaca que: “a granalha utilizada no processo, deve apresentar uma dureza aproximada ao da superfície da peça que vai ser trabalhada, além de ser pequena o suficiente para atingir toda a peça de maneira uniforme”.

Além, das granalhas de aço, também podem ser adotados no processo de jateamento, outros tipos de granalha constituídas por esferas de cerâmicas e vidro para o tratamento do aço; alumínio, bronze e zinco para o tratamento de materiais metálicos não ferrosos; carvão de silício e óxido de zircônio para materiais inorgânicos, além de particulados de polivinil, poliamida, casca de noz, caroço de frutas, madeira e cascas de arroz, quando os materiais são de origem orgânica.

2.3 EQUIPAMENTOS DE JATEAMENTO

2.3.1 Ciclone

Existem no mercado uma variedade de equipamentos utilizados nos processos de jateamento com compostos abrasivos, para fins desta pesquisa serão considerados os mais comuns em indústrias.

O primeiro deles é o equipamento denominado Ciclone, utilizado frequentemente em processos químicos nas refinarias e para o processamento de alimentos. De acordo com Schenelle; Brown, (2002): “um ciclone é constituído por uma região cilíndrica acoplada a uma seção cônica que faz com que as partículas sejam separadas do ar pela força centrífuga e gravitacional”.

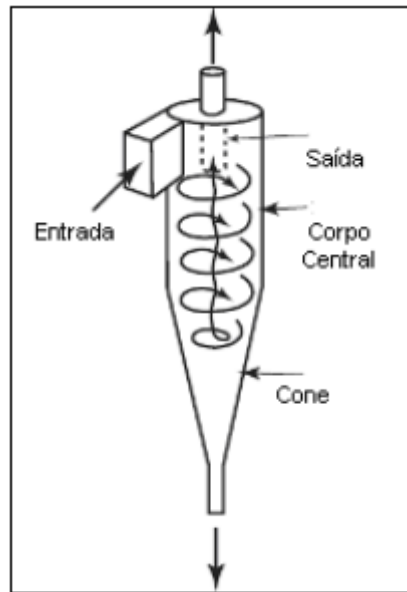
Por este processo, o ar (carregado de partículas) entra no equipamento pela abertura de cima onde é “forçado” a descer em espiral esbarrando com a parede interna do ciclone, deixando impregnado nelas, os resíduos mais pesados que caem pela base. Conforme explica Massarani (2001):

Em oposição à força centrífuga, está o arrasto desta força causada pelo movimento radial do fluxo de gás em direção ao eixo central do ciclone, e a turbulência da corrente gasosa, cujo efeito combinado é que as partículas coletadas vão à conduta de saída (MASSARANI, 2001, p. 44).

Nessa mesma base, o ar em fluxo descendente faz uma espiral menor por um tubo localizado internamente. Logo, o ar limpo deixa o equipamento pela embocadura do equipamento. Esta etapa é representada pela Figura 2 e descrita por Massarani da seguinte forma:

O movimento do gás é constituído por um vórtice exterior para baixo e um vórtice ascendente interno. A região intermédia entre estes vórtices define o eixo central do ciclone, delimitado pelos diâmetros das saídas B e De. No vórtice externo, a velocidade tangencial do gás aumenta com a diminuição da posição radial para um máximo valor, e no vórtice interno a velocidade tangencial diminui para o Centro. (MASSARANI, 2001, p. 45).

Figura 2- Esquema do fluxo de gás dentro de um ciclone padrão



Fonte: Schenelle e Brown (2002).

O formato dos ciclones favorece a eficiência do procedimento de separação de resíduos pois, pode-se alcançar, em certas situações, Segundo Junior (2014), O ciclone operando a seco apresentou eficiência média de 76,7% e a melhor eficiência média a úmido foi de 85,3%. Foi determinada a eficiência de coleta fracionária apenas para a condição operacional que resultou na melhor eficiência global. “quanto maior o diâmetro da partícula, maior a ação das forças centrífuga e de gravidade, conseqüentemente melhor a coleta”. (COOPER; ALLEY, 2002).

Entre as vantagens da utilização de equipamentos ciclones pelas indústrias tem-se: o reduzido custo inicial do investimento e manutenção além de reduzido espaço para instalação. Em contrapartida, a desvantagem de acordo com Cooper; Alley (2002), seria: “a baixa eficiência de coleta, se comparado com outros equipamentos resultando em uma perda maior de carga”.

Quando comparados a outros equipamentos de mesma função, os Ciclones apresentam menor capacidade de limpeza, o que faz com que este equipamento seja contraindicado para locais onde há rigoroso controle de poluição. Nestes casos, eles podem atuar como pré-tratadores, complementando a ação de maquinários mais eficazes. Ainda, segundo Cooper; Alley (2002): “o Ciclone diminui a concentração de particulado encaminhado para os equipamentos seguintes, podendo gerar economia”.

Acerca do desempenho comparativo do Ciclone em relação a outros equipamentos, os autores destacam os seguintes benefícios e desvantagens:

Vantagens:

- Baixo custo;
- Resistência a corrosão e temperatura;
- Simplicidade de projeto e manutenção.

Desvantagens:

- Baixa eficiência para partículas menores que 5 μm ;
- Excessivo desgaste por abrasão;
- Possibilidade de entupimento (partículas menores, higroscópicas e/ou pegajosas);
- Maior eficiência precisa de equipamentos em série, (aumento da perda de carga).

Assim, percebe-se que o equipamento Ciclone pode apresentar vantagens favoráveis à sua aquisição e manuseio, mas também, algumas desvantagens funcionais que podem acarretar prejuízos, se negligenciadas em um projeto industrial.

2.3.2 Filtro Manga

Outro equipamento muito utilizado em indústrias para a separação de material particulado em emissões atmosféricas, é o Filtro Manga, cujas características apresentadas são a segurança e o controle na emissão de poluentes.

Com relação à eficácia deste mecanismo, a empresa Sinto (2011) destaca que: “a filtração por tecido se constitui no mais confiável método para remoção de contaminantes sólidos do ar, chegando a uma eficiência acima de 99%”. A empresa destaca ainda, que essa margem é obtida mesmo com variações na velocidade de filtração, carga de pó e granulometria, onde a maioria de particulados secos, independentemente do tamanho, podem ser removidos.

Entre as limitações deste tipo de mecanismo pode-se citar as altas temperaturas dos gases expelidos; a excessiva umidade absorvida; a emissão de partículas condensáveis e pegajosas e o grande espaço ocupado por este sistema nas indústrias. A seguir, a Tabela 1 destaca as diferenças de eficiência entre um Filtro Manga composto por mangas de polímero e

outro, contendo mangas do tipo Ryton, polietileno escolhido pelo seu baixo preço e a Ryton pela sua resistência a abrasão.

Tabela 1- Eficiência do filtro mangas para material particulado

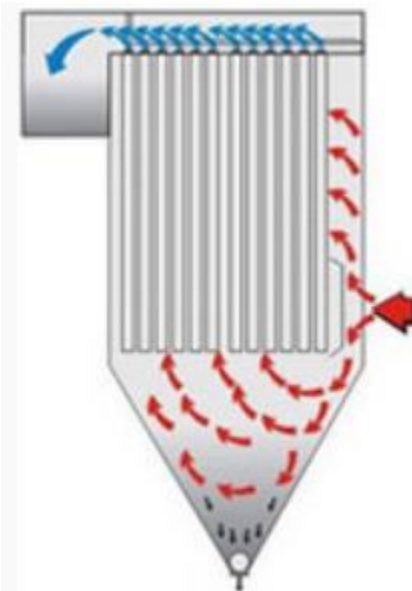
| <i>Parâmetro</i> | <i>Amostragem 1</i> | <i>Amostragem 2</i> | <i>Média</i> |
|--|---------------------|---------------------|--------------|
| Taxa de Emissão (kg/h) - Entrada Filtro | 21,63 | 7,15 | 14,39 |
| Taxa de Emissão (kg/h) - Saída Filtro | 0,077 | 0,039 | 0,058 |
| Eficiência Filtro de Mangas (%) | 99,64 | 99,45 | 99,55 |

Fonte: Bernauer (2019).

Na Tabela 1, são demonstrados os valores de duas amostras de entrada distintas (em kg/h) no equipamento Filtro Manga e a quantidade presente durante a emissão, utilizando a eficiência do filtro manga.

A Figura 3, mostra o fluxo de ar carregado de partículas (em vermelho) e após a filtração com as mangas (em azul).

Figura 3- Fluxo de ar do filtro



Fonte: Bernauer (2019).

Pela imagem acima é possível compreender a estrutura de funcionamento de um Filtro Manga, onde o fluxo ascendente - que aparece na entrada do equipamento, carregado de contaminantes - é conduzido internamente e vai deixando parte do material particulado mais pesado, retido nas mangas do filtro. Assim, o ar tratado, precipita por ação da gravidade e fluxo reverso, por outra extremidade.

Uma variedade de Filtro Manga é o *Pulse-jet*, que realiza a filtração do ar poluído pela passagem forçada deste em um meio filtrante que pode ser cilíndrico ou plissado, previamente escolhido com base nas características do material gasoso a ser tratado. Por meio dele, o pó e as fumaças ficam retidas na superfície externa das mangas e o ar limpo do filtro é liberado para a atmosfera por uma câmara conforme explicam Cooper; Alley (2002):

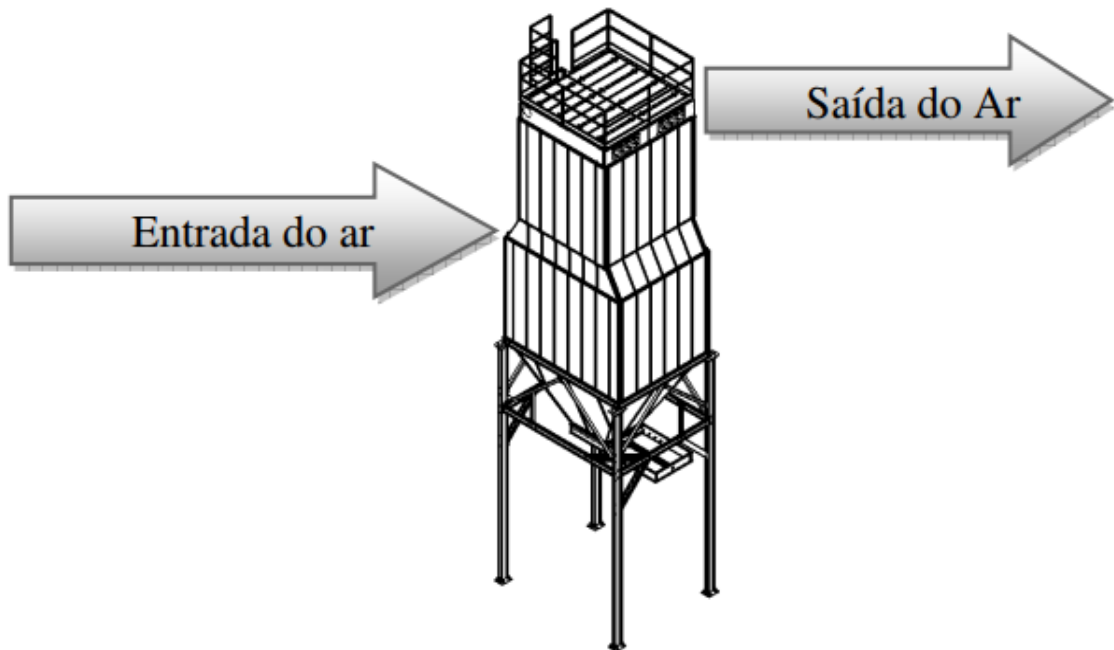
Ao reter as partículas em suas fibras por impactação ou interceptação as mangas dão suporte para uma camada de poeira que se acumula em sua superfície. A camada de poeira que se forma contribui para a filtração de particulado, pois promove a filtração de partículas menores que àquelas possíveis de se filtrar pelas fibras do tecido, aumentando assim a eficiência na filtração de partículas menores. A participação desta camada de poeira na filtração do particulado varia de acordo com o tipo da fibra (COOPER; ALLEY, 2002).

O Filtro de Mangas deste tipo é basicamente constituído por um *plenum* superior, uma câmara filtrante, parte de transição, tulha e moega de recolhimento das partículas filtradas.

A limpeza das mangas é feita de maneira automática contando, para isso, com jatos de ar comprimido que promovem a inversão do sentido de fluxo de ar dentro do equipamento favorecendo a remoção das partículas depositadas na camada filtrante das mangas. Como não ocorrem de maneira simultânea em todas as mangas, o filtro consegue tratar os saturados de pó e, ao mesmo tempo, ser limpo.

A Figura 4 representa um filtro deste tipo, fabricado pela empresa Datasilos, destacando o processo de entrada do ar contaminado e a saída, após a filtração nas mangas.

Figura 4- Filtro de Mangas Pulse Jet



Fonte: Datasilos (2018).

Assim, conforme Cooper; Alley (2002) este mecanismo, assim como o anterior, apresenta pontos fortes e fracos que são assim destacados por eles:

Vantagens:

- Alta eficiência (até 99.9%);
- Perda de carga não excessiva;
- Resistência a corrosão.

Desvantagens:

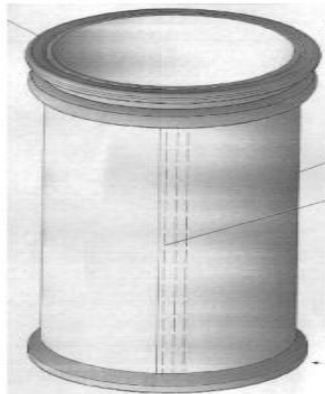
- Grande espaço requerido para tratar o volume das vazões;
- Alto custo;
- Baixa resistência a altas temperaturas;
- Empastamento devido a poluentes condensáveis e pegajosos;
- Possibilidade de entupimento.

O filtro manga do tipo Pulse Jet demonstra peculiaridades em relação aos demais filtros, trazendo como vantagens altíssima eficiência e durabilidade. Já como desvantagens, podemos listar o alto custo do equipamento.

2.3.2.2 Mangas Filtrantes

As mangas filtrantes são peças constituídas de materiais agulhados, especialmente fabricadas para permitir a separação do ar do pó, uma vez que este, ao atravessar o elemento filtrante, deixa as suas partículas mais pesadas impregnadas nas paredes do aparelho. As figuras abaixo mostram os modelos de mangas filtrantes existentes.

Figura 5- Manga Filtrante



Fonte: Patentes online (2018).

Figura 6 - Manga filtrante

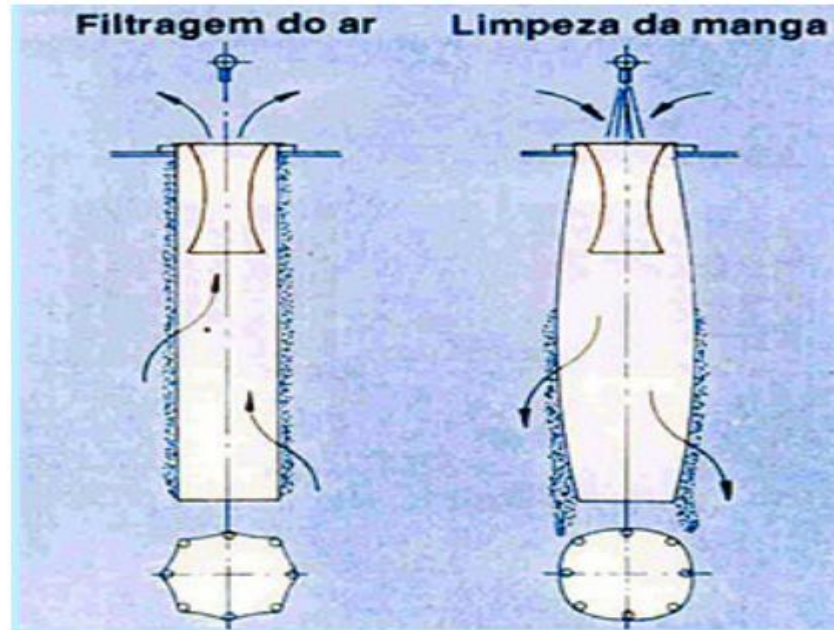


Fonte: Beckins (2018).

Com o passar do tempo e a utilização, as mangas ficam sobrecarregadas de pó, necessitando de uma limpeza que pode ser feita tanto por meio de jatos de ar comprimido,

vibração manual ou mecânica ou, ainda, de uma lavagem conforme a ilustração abaixo que mostra o esquema de limpeza das mangas pelo efeito do jato de ar comprimido.

Figura 7- Limpeza via ar comprimido



Fonte: Ecotechsystem (2018).

2.3.2.3 Materiais que constituem as Mangas Filtrantes

No mercado, é possível encontrar uma variedade de mangas filtrantes com materiais específicos para atender as indústrias de processos químicos. Elas levam em consideração as propriedades das fibras e a temperatura do gás que é expelido para a atmosfera.

Na Tabela 2 tem-se a descrição das características desses materiais e a resistência destes, a diversos meios.

Tabela 2 - Referência de aplicação das mangas filtrantes

| Material da Manga | Resistência à | | | | | Temper. Máxima de Operação °C | |
|-----------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------|-------|
| | Tração | Abrasão | Ácidos | Álcalis | Combustão | Contínuo | Picos |
| Algodão | Bom | Bom | Pobre | Bom | Sim | 80 | 90 |
| Polipropileno | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Sim | 90 | 90 |
| Nylon | Excelente | Excelente | Pobre | Excelente | Sim | 90 | 120 |
| Homopolímero Acrílico | Bom | Bom | Muito Bom | Fraco | Sim | 130 | 140 |
| Copolímero Acrílico | Médio | Fraco | Bom | Fraco | Sim | 110 | 120 |
| Poliéster | Excelente | Excelente | Fraco | Fraco | Sim | 135 | 150 |
| Nomex | M, Bom | Excelente | Fraco | Bom | Não | 190 | 220 |
| Teflon | Médio | Fraco | Bom | Fraco | Não | 230 | 260 |
| Fibra de Vidro | Excelente | Fraco | Bom | Fraco | Não | 260 | 290 |
| Ryton | M. Bom | Excelente | Excelente | M. Bom | Não | 190 | 220 |
| P-84 | M. Bom | Excelente | M. Bom | Fraco | Não | 260 | 290 |

Fonte: Sinto (2018).

Os valores apresentados nesta tabela auxiliam na identificação do material mais adequado, com resultados que podem variar conforme as condições de operação do equipamento como um todo.

Tabela 3 - Características das mangas filtrantes

| Material | Características das Fibras |
|----------------|---|
| Polipropileno | Fibras resistentes, baixa absorção de umidade e possui uma excelente resistência química. |
| Nylon | Fibras robustas com excelente resistência à abrasão e a álcalis. |
| Acrílico | Bom em condições ácidas. Excelente estabilidade dimensional e resistência à hidrólise. |
| Poliéster | Altamente resistente à tração, boa estabilidade dimensional, resistência ao calor até 135 °C. |
| Nomex | Excelente resistência ao calor (190 °C) e excelente resistência a abrasão. |
| Teflon | Pode ser usado em temperaturas acima de 230 °C e possui uma resistência química excelente. |
| Fibra de Vidro | Pode ser usado a altas temperaturas e possui alta resistência à tração. |
| Ryton | Excelente resistência química e a abrasão. Excelente resistência ao calor a 190 °C. |

Fonte: Sinto (2018).

Na Tabela 3, são demonstradas as características dos tipos de fibras utilizadas nos Filtros Manga, sendo que para fins de estudo comparativo, foram utilizados nesse estudo, as constituídas por Polipropileno e Ryton.

2.3.3 Precipitador Eletrostático

O Precipitador Eletrostático, também chamado de Filtro de Ar Eletrostático, é um equipamento utilizado para controle de poluição em fábricas que emitem grande volume de gás que não pode ser liberado ao meio ambiente.

Ele atua como mecanismo de controle de emissões de cinzas de caldeiras, incineradores utilizados em processos de fabricação de material para a construção civil tais como cal, cimento além de papel, há quase um século.

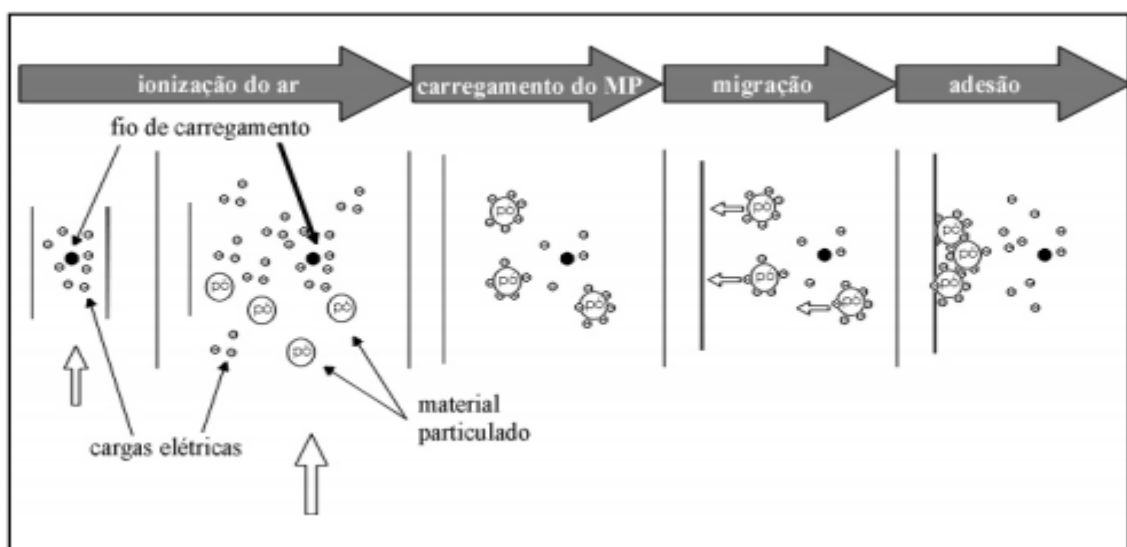
O princípio de operação está no fornecimento de carga elétrica à partícula que adentra o equipamento na chamada descarga corona. Essa descarga elétrica ocorre entre dois eletrodos ao serem submetidos a uma alta diferença de potencial.

O campo elétrico de alta intensidade gerado, é necessário para a produção de íons em grande quantidade na fase gasosa. Desse modo, as partículas (carregadas) são submetidas a um campo elétrico que faz a “coleta” destas em uma placa.

Dullien (1989), comenta que: “a taxa de migração das partículas carregadas para os eletrodos de coleta é função do seu tamanho, da magnitude da carga na partícula, da intensidade do campo elétrico e do fluxo gasoso”.

Na Figura 8, representa, que as partículas sendo orientadas eletricamente e atraídas para superfície do equipamento que posteriormente vai ser removida por batimentos mecânicos.

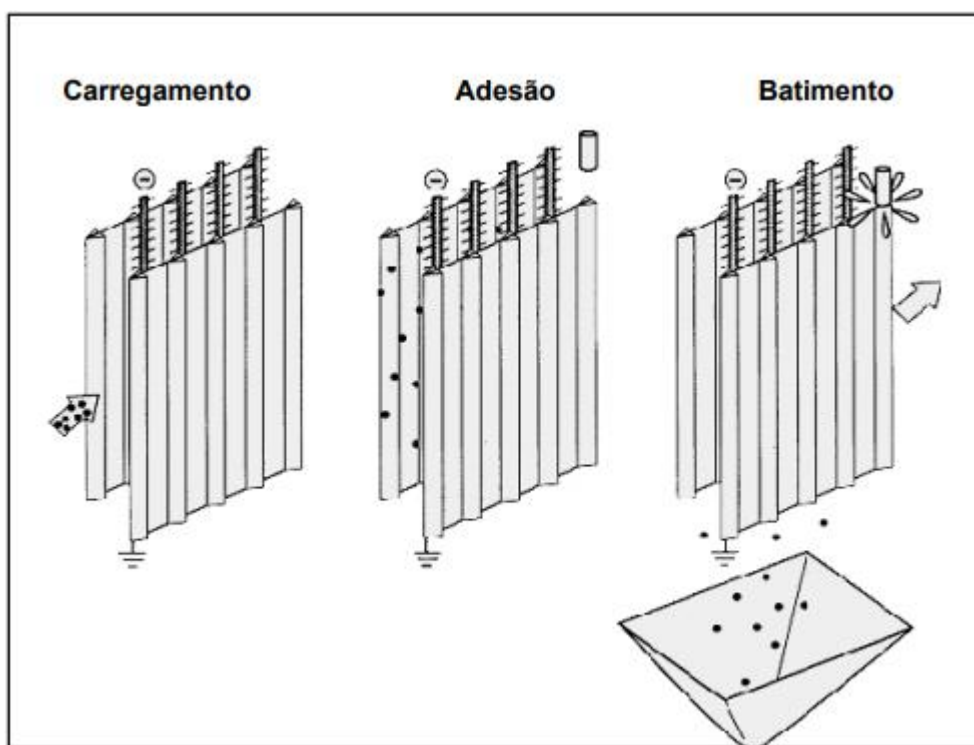
Figura 8 - Princípio elétrico de um Precipitador Eletrostático



Fonte: Parker (1997).

Existem no mercado, dois tipos de precipitadores eletrostáticos sendo o de simples estágio - onde o processo de carregamento e a migração das partículas para a placa coletora ocorrem em etapa única e o precipitador de duplo estágio - onde as partículas são carregadas na primeira seção e removidas na seguinte, conforme ilustra a Figura 8.

Figura 9 - Tipos de precipitadores: (a) simples estágio; (b) duplo estágio



Fonte: Parker (1997).

A Figura 9 mostra os estágios de operação de um precipitador eletrostático que compreende o carregamento (quando a câmara é carregada pelo fluxo de ar e partículas), a adesão - onde as partículas ficam aderidas nas paredes da câmara por atração magnética e o batimento, onde elas sofrem impactos para decantar as partículas que ficaram presas.

Outras mecanismo do Precipitador Eletrostático compreende os estágios diferenciados, sendo que no estágio simples, são minimizadas a re-suspensão das partículas já coletadas (MIZUNO, 2000) e o de duplo estágio, apresenta um tempo maior de carregamento de partículas e menor propensão ao fenômeno denominado corona reversa (FALAGUASTA, 2005). O precipitador eletrostático de duplo estágio é utilizado em aplicações de pequena escala, como tecnologia de salas limpas (PARKER, 1997), além de outras características de prós e contras como:

Vantagens:

- Tratar grandes vazões e altas temperaturas;
- Alta eficiência de coleta para partículas pequenas;
- Baixo custo de operação e manutenção.

Desvantagens:

- Custo inicial elevado;
- Requer grande espaço físico.

Portanto, percebe-se que esse tipo de equipamento tem por característica a capacidade de trabalhar com grandes vazões apresentando ainda, um baixo custo operacional por ser um sistema automatizado. A maior desvantagem desse sistema fica por conta do alto custo inicial de investimento.

2.3.4 Aparelho de Depuração Úmida

Muitos dos processos industriais geram gases poluentes capazes de impactar o meio ambiente e as pessoas que entram em contato com ele. Sendo assim, outra possibilidade para a filtragem dos poluentes gasosos é o depurador úmido.

Nele, as partículas contaminadas são interceptadas por gotas de água. Essas partículas - mais pesadas, são separadas dos gases por efeito gravitacional. Já o resíduo sólido pode ser, de maneira independente, retirado da água ou, ainda, é possível em alguns casos, realizar o tratamento desta para reuso na indústria ou descarte.

Alguns dos poluentes que podem ser tratados pelo depurador úmido de acordo com a empresa Sorbocal² são: as dioxinas e furanos; dióxido de selênio, dióxido de enxofre, trióxido de enxofre, cloreto de hidrogênio, fluoreto de hidrogênio.

Ainda de acordo com a referida empresa, dioxinas e furanos podem ser removidos por adsorção física na superfície de adsorventes adequados, quer se constituem em materiais com

² Disponível em: <https://www.sorbocal.com/lat_pt/processo-umido#!/depurador-por-via-umida>. Acesso em: 26/03/2018.

áreas de superfícies muito altas, tais como carvão ativado pulverizado, coque de linhito ativado ou minerais específicos.

2.4 COMPARAÇÃO ENTRE EQUIPAMENTOS

As indústrias são responsáveis pelas maiorias das emissões de poluentes em larga escala. Esses poluentes presentes no ar apresentam dimensões e densidades diferentes que podem ser tratados de maneira específica. Com o auxílio da granulometria das partículas, é possível obter um parâmetro para a definição do tipo de separador mais adequado ao tratamento residual que cada indústria demanda.

O Quadro 1, apresenta a relação entre separadores de partículas e as dimensões das mesmas.

Quadro 1 - Relação entre separadores de partículas e suas respectivas dimensões

| Identificação | Visível ao olho humano | | Microscópio óptico | | Microscópio eletrônico | | |
|--|------------------------------|------------------------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------|------------------|--|
| | 1000 | 100 | 10 | 1 | 0,1 | 0,01 | |
| Faixa típica das partículas atmosféricas | Areia | Pó | | Fumaça | | | |
| | Gotas de chuva | Aerossol | | Névoa | | Fumaça de tabaco | |
| | | Carvão pulverizado | | Cinza volátil | | Carvão preto | |
| | Areia de fundição | Polens | | Bactérias | | Vírus | |
| | Pó da indústria pesada | Impurezas atmosféricas temporárias | | Impurezas atmosféricas permanentes | | | |
| | | Pó de cimento | | Fumaça de óxido de zinco | | | |
| | | Pó de incineradores | | | | | |
| | Faixa típica dos separadores | Câmara de sediment. | | | | | |
| | | Ciclones | | | | | |
| | | Ciclones de alta eficiência | | | | | |
| Filtros de mangas | | | | | | | |
| Lavadores de gás | | | | | | | |
| Precipitadores eletrostáticos | | | | | | | |

Fonte: Lisboa (2007).

A Tabela 4 a seguir, complementa as informações demonstrando a eficiência de coleta nos diferentes tipos de coletores de material particulado.

Tabela 4 - Eficiência fracionada de coletores de material particulado em função da distribuição de tamanho das partículas (em porcentagens)

| Tipo de equipamento | Diâmetro (μm) | | | | |
|----------------------------|----------------------------|--------|---------|---------|-------|
| | 0 → 5 | 5 → 10 | 10 → 20 | 20 → 50 | >50 |
| Câmara de sedimentação | 7,5 | 22,0 | 43,0 | 80,0 | 90,0 |
| Ciclone de baixa pressão | 12,0 | 33,0 | 57,0 | 82,0 | 91,0 |
| Ciclone de alta pressão | 40,0 | 79,0 | 92,0 | 95,0 | 97,0 |
| Multiciclone | 25,0 | 54,0 | 74,0 | 95,0 | 98,0 |
| Filtro de mangas | 99,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Lavadores de média energia | 80,0 | 90,0 | 98,0 | 100,0 | 100,0 |
| Lavador Venturi | 95,0 | 99,5 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Precipitador eletrostático | 97,0 | 99,0 | 99,5 | 100,0 | 100,0 |
| Torre de spray | 90,0 | 96,0 | 98,0 | 100,0 | 100,0 |

Fonte: Lisboa (2007).

Para se compreender melhor a eficiência dos equipamentos em relação ao seu diâmetro, a Tabela 4 demonstra valores dos diferentes diâmetros para uma série de equipamentos, tendo como destaque os equipamentos ciclone, filtro manga e precipitador eletrostático.

2.5 SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTO

Como todo equipamento tem um prazo de validade, o uso prolongado do maquinário para a separação de material particulado, ainda que tenham baixo custo de manutenção, por vezes acabam em algum momento, tendo que sofrer reparos ou mesmo serem substituídos.

Entre os principais fatores que motivam a substituição de um equipamento de grande porte como os apresentados aqui, estão: a ampliação da capacidade de produção; os danos irreversíveis contraídos pelo uso prolongado; a obsolescência e os acidentes de trabalho.

A vantagem da substituição desses equipamentos por modelos completos mais modernos ou em partes, por outros com características similares podem representar, em alguns casos, uma economia de matéria prima para a indústria.

2.5.1 Relação Custo/ Benefício

Quando verificada a necessidade de aquisição ou troca de equipamento pela indústria, devem ser observados os critérios de avaliação econômica de projetos contemplando os efeitos sobre a sociedade e o meio ambiente, tanto os diretos como os indiretos. Nestes casos o lucro não é a prioridade do investimento (TORRES, 2006).

Portanto, a troca do equipamento tem relação com o desempenho da indústria, mas também com o seu entorno: comunidade, natureza de modo a atender a legislação vigente. Torres (2006), complementa ainda que: “o benefício nesses casos está relacionado a tudo que é favorável aos objetivos do projeto, e o custo, de diferente modo, compreende tudo que é desfavorável”.

A comparação de diferentes projetos deve considerar as despesas de implantação, de operação e manutenção, que serão aplicadas em períodos, assim como os recebimentos e benefícios. O custo deve ser avaliado dentro do período de vida útil esperada do projeto.

Assim, quando existirem mais de um projeto a ser avaliado, o autor recomenda optar pelo de menor custo ou por aquele que traga mais benefícios econômicos, sociais e ambientais.

2.6 VIDA ÚTIL DO EQUIPAMENTO

A vida útil de um equipamento, de acordo com Fadigas (2013): “corresponde ao período de tempo em que este desempenha satisfatoriamente as suas funções, ou seja, este conceito está diretamente relacionado a durabilidade de um produto ou processo”.

Já o termo vida econômica, também aplicado em análises de implantação de projetos, está relacionado ao período de tempo de uso do equipamento (enquanto o retorno gerado somado ao valor de venda forem maiores ou iguais aos custos operacionais), podendo, em alguns casos, ser menor do que a vida útil.

Portanto, um equipamento mesmo estando em utilização plena, pode deixar de ser financeiramente viável, por apresentar custos maiores em relação ao retorno esperado, atingindo o ápice da vida econômica antes mesmo da sua vida útil acabar e um dos fatores que também contribuem para a aposentadoria antecipada de um equipamento - como os separadores de partícula - está na política ambiental e suas exigências para controle de poluição.

3 METODOLOGIA

Considerando a relevância do método científico para a pesquisa, o qual indica etapas e normas que devem ser seguidas em busca da construção do conhecimento com cientificidade, Lakatos e Marconi (2010) definem método como:

O conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo, conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões de forma válida e verdadeira, ou seja, através do método científico de comprovação. (LAKATOS E MARCONI, 2010).

O delineamento metodológico desta pesquisa é de cunho quali-quantitativo, ou seja, utiliza-se o multimétodo pela aplicação de duas técnicas, envolvendo um estudo teórico e pesquisa de campo.

Sobre a forma de pesquisa que busca o levantamento qualitativo das informações, Minayo (2001, p. 14) explica que: “trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, aspectos da realidade que não podem ser quantificados, centrando-se na compreensão e explicação da dinâmica das relações sociais”.

Denker, (1998 p. 107), acrescenta que a pesquisa qualitativa é pertinente na busca para: “se obter conhecimento mais profundo de casos específicos” e, identificar por meio de uma técnica de pesquisa, o sentimento envolvido.

No que tange a fase quantitativa da pesquisa, buscou-se identificar, por meio de cálculo de custos, a viabilidade de implantação de cada equipamento separador de partícula em uma indústria, fazendo-se sobre estas uma projeção de investimento necessário.

Nesse sentido, percebe-se que as complementações das técnicas de pesquisa ampliam a compreensão, dando mais complexidade ao tema investigado, conforme afirma Dal-Farra; Lopes, 2013:

Os estudos quantitativos e qualitativos possuem, separadamente, aplicações muito proficuas e limitações deveras conhecidas, por parte de quem os utiliza há longo tempo. Por esta razão, a construção de estudos com métodos mistos pode proporcionar pesquisas de grande relevância para a Educação como corpus organizado de conhecimento, desde que os pesquisadores saibam identificar com clareza as potencialidades e as limitações no momento de aplicar os métodos em questão (DAL-FARRA; LOPES, 2013, p.71).

Assim, as etapas para a realização deste trabalho foram constituídas por pesquisa em livros e documentos acerca dos processos industriais que implicam a utilização de separadores de particulado, chegando-se ao processo de jateamento com granalha.

Dentre os equipamentos disponíveis no mercado para a realização deste procedimento em grandes empresas do setor químico industrial, delimitou-se a análise nos três tipos mais comuns empregados na a realização desta tarefa: o equipamento ciclone, o filtro manga e o precipitador eletrostático.

Identificado os equipamentos potenciais, buscou-se realizar uma análise de custos destes, observando os critérios de desempenho, custo e rendimento, contando ainda, com uma visita *in loco* a uma indústria de jateamento.

A última etapa da pesquisa, contou com a realização dos cálculos para estimativa de valores (custos e gastos) envolvidos no projeto e a apresentação dos resultados obtidos.

4 ANÁLISE E RESULTADOS

4.1 PROCESSO DE JATEAMENTO

4.1.1 Sistema de jateamento da granalha

Para a realização de análise de viabilidade econômica do processo de jateamento é preciso entender qual a sua finalidade e os possíveis custos envolvidos nas indústrias que operacionalizam com este sistema.

O jateamento com granalha é destinado ao tratamento de peças que sofreram corrosão superficial tais como tubos e conexões metalizadas - utilizados na construção civil, conferindo uniformidade para posterior pintura.

A Figura 10 a seguir, apresenta tipos de peças que irão ser submetidas ao jateamento. Estas são colocadas sobre guias metálicas, pelas quais são roladas para dentro da camada de jato.

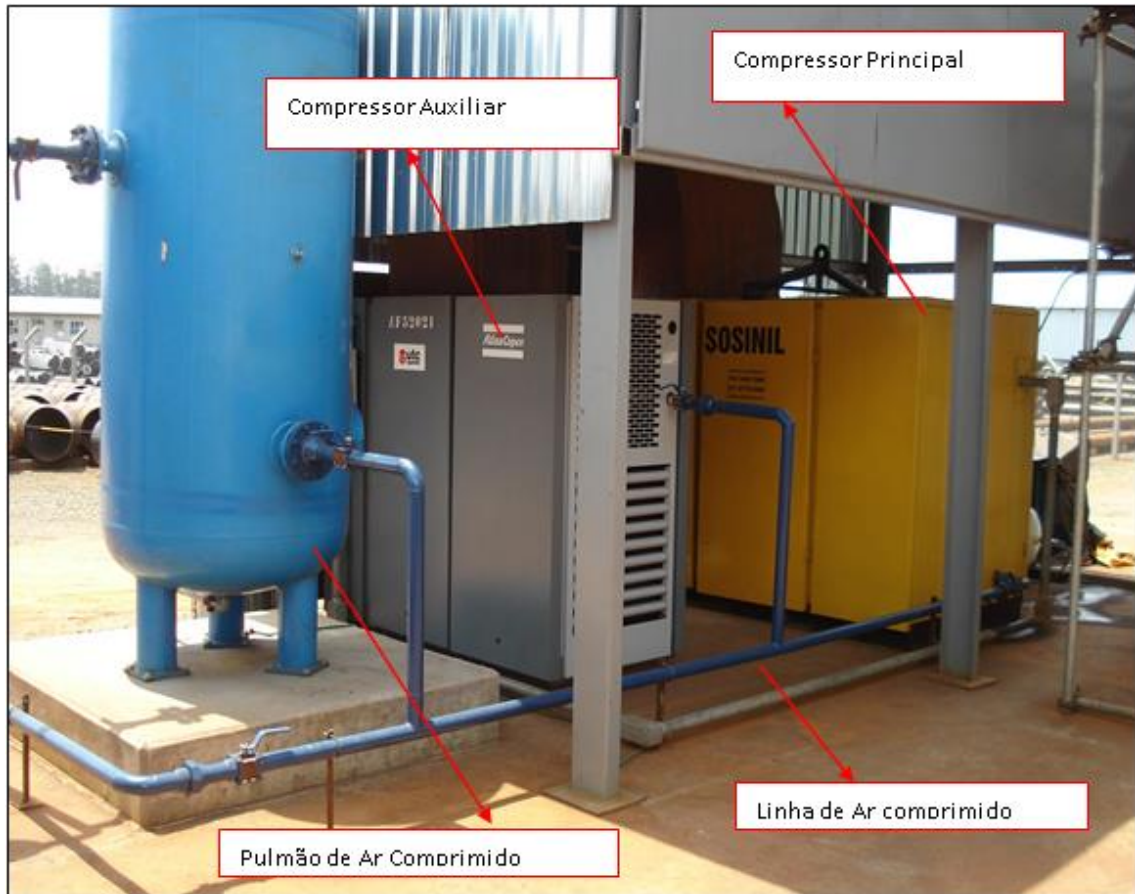
Figura 10 - Área de aguardo e rolamento para o jateamento



Fonte: Autoria própria (2016).

Uma linha de ar comprimido serve para alimentar a máquina de jateamento com ar e granalha pressurizada dentro da cabine conforme a Figura 10, onde podem ser identificados o compressor auxiliar, compressor principal, pulmão de ar comprimido e linha de ar comprimido, indispensáveis ao processo de pressurização.

Figura 11 - Linha de ar comprimido e compressores



Fonte: Autoria própria (2016).

A reserva de granalha para utilização no processo fica armazenada em proximidade com a câmara de jato (Figura 11) que está conectada com a linha de ar comprimido vinda do compressor. Para que o processo ocorra, é necessário adicionar a granalha de aço com o ar comprimido por meio de mangueiras para o interior da câmara.

Figura 12 - Câmara de granalha.



Fonte: Autoria própria (2016).

4.1.2 Sistema de Reutilização da Granalha

As peças, após sofrerem o processo de limpeza e uniformização, são direcionadas até uma calha de recolhimento, que apresenta um piso levemente inclinado para favorecer o trabalho dos funcionários, conforme a Figura 13:

Figura 13 - Interior da câmara de jato

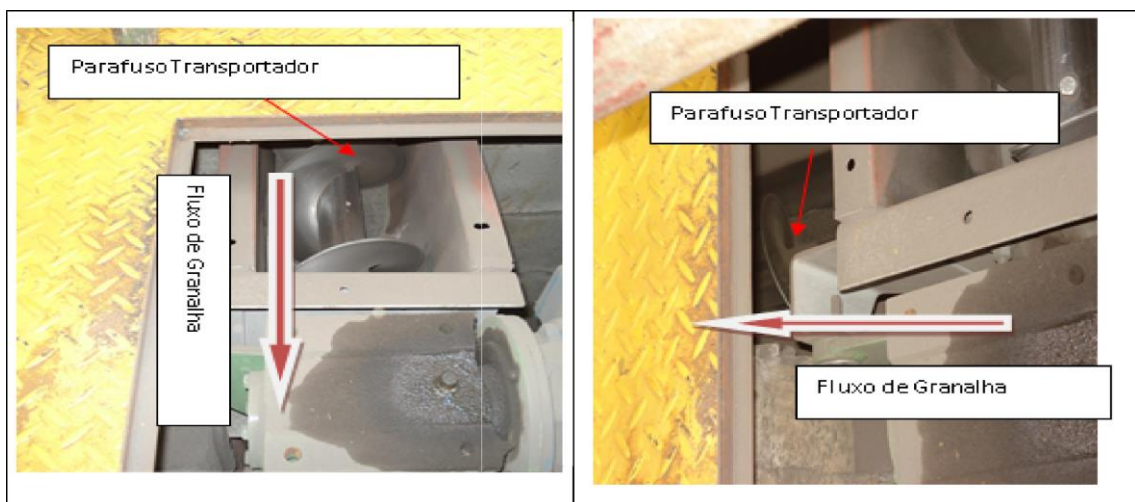


Parafuso transportador da calha de recolhimento da Granalha

Fonte: Autorial própria (2017).

A granalha utilizada, após o processo, é transportada por um parafuso (tipo rosca sem fim) para fora da câmara onde encontra outro parafuso transportador que orienta o fluxo para um elevador caneca para reiniciar o ciclo na máquina de jato.

Figura 14 - Parafuso transportador/ saída do Jateamento; Parafuso transportador/ saída do Jateamento



Parafuso Transportador

Fluxo de Granalha

Parafuso Transportador

Fluxo de Granalha

Fonte: Autorial Própria (2017).

Figura 15 - Transportador de Caneca



Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 16 - Compressor hospitalar



Fonte: Aatoria própria (2017).

Nesta linha estão contidos um filtro purificador, um medidor de vazão, um manômetro e uma bifurcação que favorece o envio de ar a dois funcionários ao mesmo tempo.

Figura 17 - Filtro linha de “ar mandado”



Fonte: Aatoria própria (2017).

4.1.3 Tratamento de ar

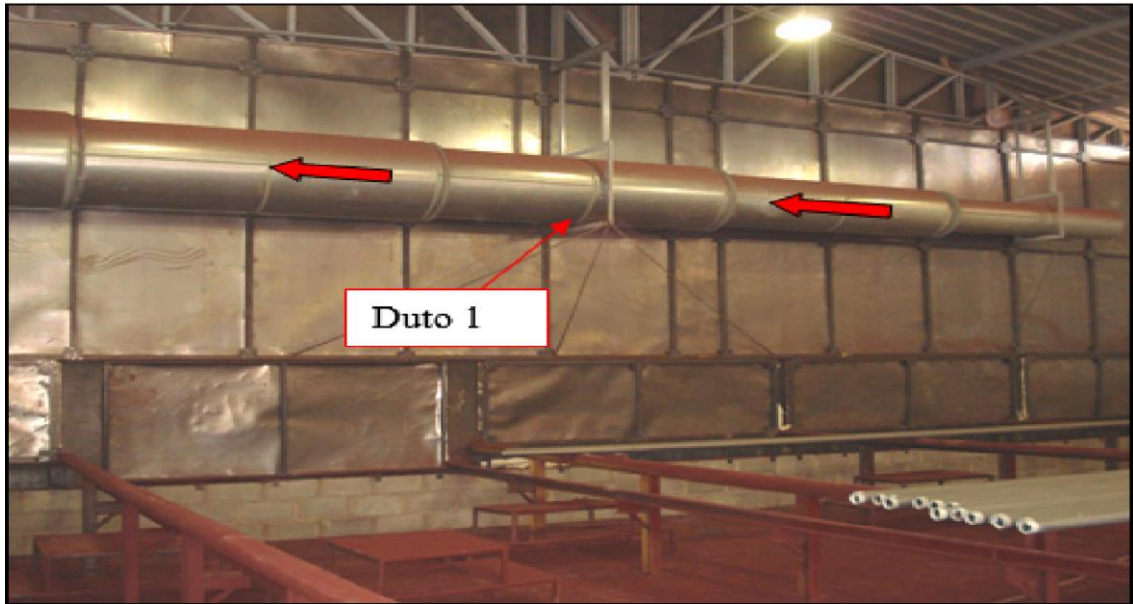
A câmara de jateamento possui um sistema de exaustão do ar por onde a parte poluída é transportada (Figuras 17, 18 e 19) até uma máquina de operações unitárias - o Ciclone - para tratamento, antes de ser devolvido à atmosfera.

Figura 18 - Exaustores e EPI's



Fonte: Autoria própria (2016).

Figura 19 - Duto 1



Fonte: Aatoria própria (2017).

Figura 20 - Exaustão Câmara de Jato



Fonte: Aatoria própria (2017).

Para limpar o ar contaminado, o equipamento Ciclone conta com uma rede de aspersores em sua parte superior que lança água limpa em sentido contrário ao fluxo de ar contaminado que entra. Assim, os poluentes são absorvidos pela água, acumulando-se no fundo do reservatório do aparelho. Essa água, que fica retida no fundo do Ciclone, é bombeada para a parte mais alta do equipamento por uma bomba posicionada na parte externa deste.

Durante o carregamento da granalha pelo transportador de caneca, uma grande parcela dos particulados são removidos com o auxílio de um ventilador e remetidos ao equipamento Ciclone por intermédio de um exaustor (duto2 – Figura 21).

Figura 21 - Duto 2



Fonte: Autorial própria (2017).

Figura 22 - Exaustão do duto de retorno da granalha utilizada no jato



Fonte: Autorial própria (2016).

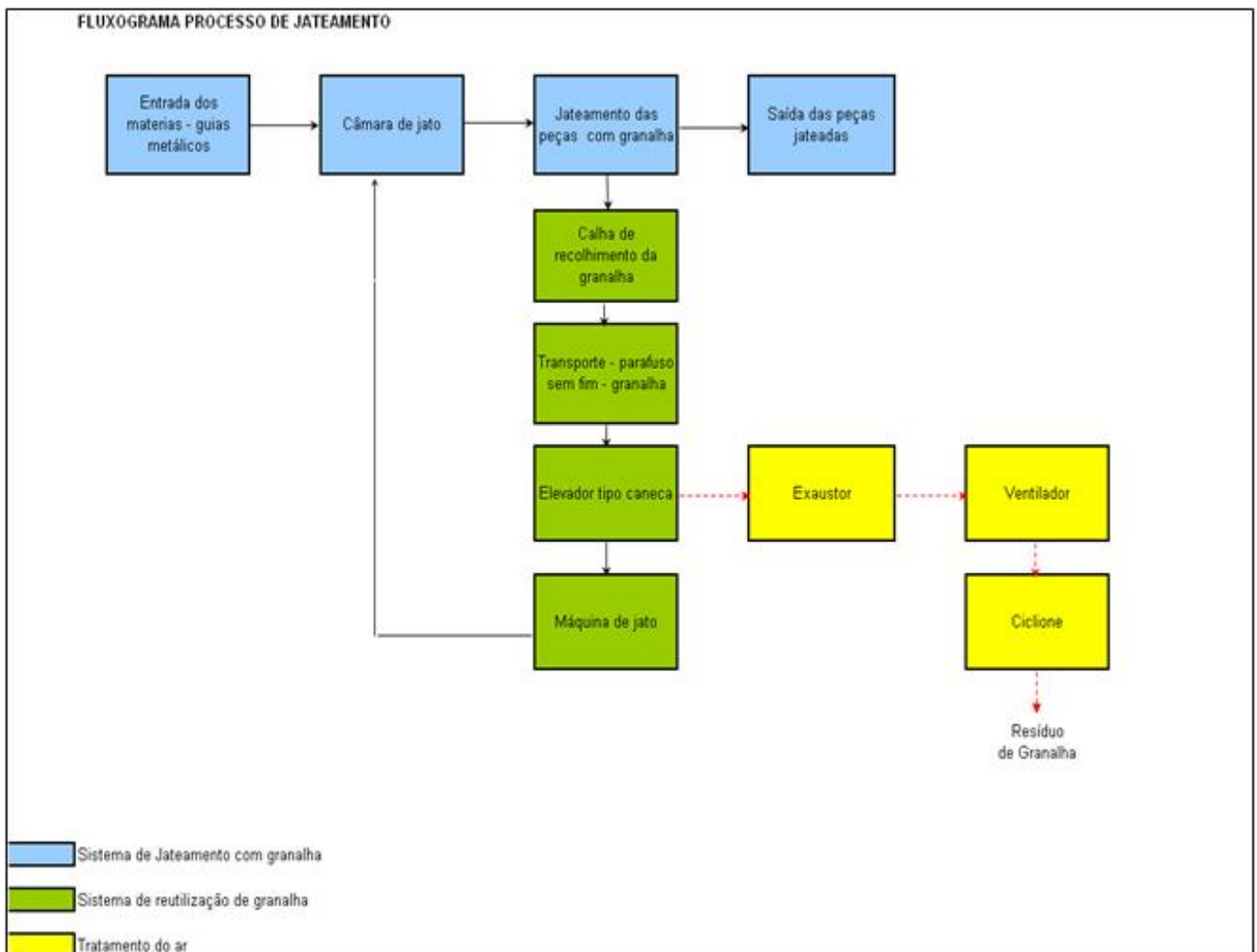
4.2 Análise do processo

4.2.1 Fluxograma do processo

A descrição do processo de jateamento mostra que o sistema é dividido basicamente em três etapas sendo composto por um sistema de jateamento com granalha; sistema de reutilização dessa granalha e tratamento do ar. Para fins desta pesquisa, considerou-se apenas a análise econômica do sistema de tratamento do ar, dadas as suas implicações socioambientais.

O quadro 2, apresenta o fluxograma do processo de jateamento, contando as 3 etapas sendo dividido por cores distintas.

Quadro 2 - Fluxograma do Processo de Jateamento



Fonte: Autoria própria.

4.3 ANÁLISE DO SISTEMA DE JATEAMENTO

O processo de jateamento com granalha pode ser considerado ecologicamente correto uma vez que, no processo ocorre a reutilização da matéria-prima – a granalha e ocorre tratamento do ar contaminado antes da devolução ao meio ambiente.

No caso específico da máquina de jateamento, o coletor de pó acoplado à máquina, retém em sua parte inferior, materiais removidos de uma peça ou material jateado, bem como os grãos de granalha que se desgastam durante o procedimento.

A maioria dos equipamentos utilizados para esta finalidade, dispõem de mecanismos que favorecem o reaproveitamento dos itens que participam do processo de jateamento tais como a granalha, o ar e a água, elevando o rendimento dos aparelhos a 90%.

4.4 CABINE DE JATEAMENTO

Em uma cabine de jateamento, de acordo com os fabricantes de equipamentos para o setor industrial, estima-se que vazão da granalha alcance a margem de 5000 kg/mês, considerando um maquinário operando oito horas por dia, cento e setenta e seis horas no mês. A reposição de 10% da granalha na máquina de jato, corresponde a 500 kg/mês e a perda média de granalha chega a 0,000789kg/s³.

4.4.1 Cálculos e Balanço do Ciclone

O Ciclone funciona como um equipamento de separação, cuja finalidade é diminuir o particulado de granalha e ferrugem do ar que sai pelo sistema de exaustão. Assim, com a limpeza desse maquinário, podem ser obtidos 492,5 kg de granalhas de aço, o que corresponde a 0,00077 kg/s.

³ Neste caso, considera a saída da granalha de aço pela cabine de jateamento para o equipamento Ciclone.

4.5 ANÁLISE DOS EQUIPAMENTOS

A Tabela 5, traz uma comparação entre os quatro tipos de equipamentos: Ciclone, Filtro Manga, Aparelho de depuração úmida e o Precipitador Eletrostático, com seus respectivos rendimentos e parâmetros.

Tabela 5 - Parâmetros sobre equipamentos Ciclone, Precipitador Eletrostático e Filtro de Mangas

| Parâmetro | Ciclone | Precipitador Eletrostático | Filtro de Mangas |
|-----------------------------|---|--|---|
| Eficiência | De 70 a 90% | Superior a 98% | Superior a 99,99% |
| Emissão | Maior que 150 mg/m ³ | De 75 a 150 mg/m ³ | Menor que 50 mg/m ³ |
| Tamanho da partícula retida | Maior que 10 µm | Maior que 0,001 µm | Maior que 0,1 µm |
| Custo de investimento | Baixo | Alto | Médio |
| Custo de manutenção | Baixo | Alto | Médio |
| Custo de operação | Baixo | Alto | Baixo |
| Princípio de operação | Decantação forçada do pó por inércia | Indução de eletricidade estática no pó e posterior aglomeração por atração eletrostática e decantação | Impactação e aglomeração do pó com posterior decantação |
| Características | Pode sofrer elevada abrasão pelo pó ou corrosão pelo gás; Baixa eficiência para pós finos (<5µm). | Pode apresentar elevadas emissões no início e parada de operação (maiores que 300 mg/m ³); Não aceita gases inflamáveis e variações das condições do pó+gases; A eficiência de coleta depende da resistividade elétrica do pó. | Aceita variações das condições pó+gás (concentração pó, temperatura, umidade, etc.) sem variar a emissão significativamente; Aceita pós finos e gases/pós inflamáveis; É o mais utilizado no mundo. |

Fonte: Pacheco (2002).

A Tabela 6, apresenta os valores para comparação entre os tipos de coletores: Filtro Manga, Precipitador Eletrostático, Ciclone e Coletores úmidos, descrevendo o custo anual deste por kg/ ano.

Tabela 6 - Comparação entre os equipamentos de controle

| Tipo de Coletor | Tamanho da Partícula (µm) | Temperatura Máxima (°C) | Queda de Pressão (cm H ₂ O) | Custo Anual US por ano por (kg) |
|--|---------------------------|-------------------------|--|---------------------------------|
| Filtros de Mangas (algodão, nylon e polietileno) | 1.0 – 50.0 | 80-120 | 10 - 12 | 14,00 – 17,00 |

| | | | | |
|---|-------------|-----------|---------|---------------|
| Filtros de Mangas (fibra de vidro, teflon e Ryton) | 1.0 – 50.0 | 260 - 290 | 10 - 20 | 21,00 – 23,00 |
| Precipitador Eletrostático | 0.1 – 10.0 | 400 | 1 | 21,00 |
| Ciclones | 10.0 – 50.0 | 400 | 5 - 12 | 7,00 – 11,00 |
| Coletores Úmidos | 1.0 – 50.0 | 540 | 10 - 88 | 25,00 – 56,00 |

Fonte: Stern (1984).

4.5.1 Análise do equipamento Ciclone

Já na Tabela 7, são apresentados os custos – em dólares - dos separadores do tipo Ciclone.

Tabela 7 - Custo individual dos equipamentos separadores de partículas

| Separadores Ciclone em \$ | | |
|----------------------------------|--------------------|-------------------|
| Poeira Pesada | $C = 1,39Q^{0,98}$ | $2 < Q < 40.000$ |
| Poeira padrão | $C = 0,65Q^{0,91}$ | $2 < Q < 40.000$ |
| Multiciclone | $C = 1,56Q^{0,68}$ | $9 < Q < 180.000$ |

Fonte: Walas (1990).

A análise de dados da tabela 7 considerou um “Q” mediano no valor de 20.000 e a granalha de aço como uma poeira padrão, logo o valor resultante de “C” foi de 5.331,00 dólares para um período de dez anos, pois nesse período o equipamento sofre uma grande depreciação.

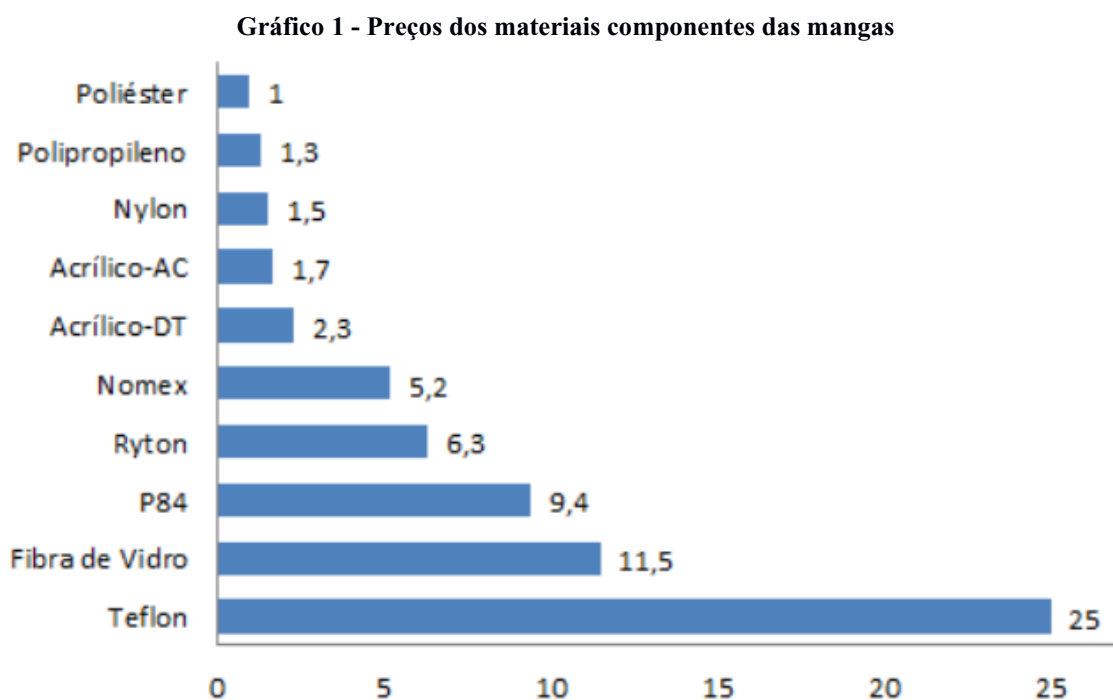
4.5.2 Análise do Filtro Manga

4.5.2.1 Custos totais do aparelho Filtro Manga

Como parte deste trabalho também considerou-se o desempenho do filtro de manga tipo Pulse-Jet, o qual apresenta, como característica, um sistema de limpeza automática à base de jatos de ar comprimido em contracorrente, reduzindo o seu desgaste.

Para fins de análise do Filtro Manga, foram considerados as diferenças de valores dos materiais disponíveis no mercado, quanto a sua capacidade de resistência a abração resultante da utilização da granalha.

O Gráfico 1, contém os valores comparativos das mangas pelo tipo de material apresentado utilizando-se como referência a manga de poliéster.



Fonte: Sitape (2018).

Dentre os tipos de Filtro Manga pesquisados, os mais comuns são os de Polipropileno, Nylon, Poliéster, Nomex, Ryton e P-84. Entretanto, nesse trabalho foram considerados apenas os valores referenciais para manga de Ryton, por ter um valor mediano e através de estudos e cálculos realizados se apresenta com as características e custos mais interessantes.

No caso dos filtros tipo “Pulse Jet”, onde tem-se um número de mangas igual a cem e uma área filtrante equivalente a 100 m², a uma relação ar/pano chega a 1,5 m³/(m².min).

Com base nestes dados, para manutenção de um filtro tipo “Pulse Jet”, o custo operário/dia é de R\$ 16,00 reais. Estima-se que o tempo necessário para troca das mangas, seja de dois dias e o número de operários envolvidos na operação, seja quatro. Assim, chega-se a um total de 308 dias úteis de operação. A tabela 8, descreve o custo total anual comparando -se os dois tipos de mangas.

Tabela 8 - Cálculos dos custos de dois tipos de manga

| Gramatura de Manga | Polipropileno | Ryton |
|---------------------------|----------------------|--------------|
| Custo unitário, R\$ | R\$ 39,00 | R\$ 189,00 |
| Vida útil, meses | 6 à 8 | 18 à 24 |

| | | |
|-------------------------------|------------------|-------------------|
| Número de trocas/ano | 1,5 | 0,5 |
| Emissão anual do filtro | 9314 kg | 3992 kg |
| Custo das mangas por troca | R\$ 1.200 | R\$ 1.600 |
| Custo de Instalação por troca | R\$ 128,00 | R\$ 128,00 |
| Número de trocas em 2 anos | 3 | 1 |
| Custo da emissão da Granalha | R\$ 530 | R\$ 530 |
| Custo da troca das mangas | R\$ 6.042 | R\$ 9.514 |
| Custo Total Anual | R\$ 7.900 | R\$ 11.772 |

Fonte: Autoria própria.

Portando, o custo das trocas e instalação das cem mangas considerando-se o tempo em dias (dois) e a quantidade de funcionários envolvidos (quatro) chega a R\$ 128,00 reais.

Com base numa pesquisa de mercado, o custo unitário da manga com Polipropileno é de R\$ 39,00 reais enquanto que, o custo da manga com Ryton é R\$ 189,00. Logo, o custo de uma troca do jogo é multiplicado por cem estes valores.

Levando-se em consideração, ainda, que a vida útil da manga de Polipropileno (entre seis a oito meses), e o da manga com Ryton entre dezoito a vinte e quatro meses, chega-se a uma margem de uma troca e meia por ano ao passo que para uma manga de gramatura maior este valor chega a 0,5 trocas/ano.

Dessa forma, o custo das trocas para uma manga com 450 g/m² poderá ser obtido, de acordo com Pacheco (2002), da seguinte forma: o custo das trocas (mangas de Polipropileno) = $(39 \times 100 + 128) \times 1,5 = \text{R\$ } 6.042,00$ reais.

No caso de um filtro com cem mangas, para o qual podem ser adquiridas mangas em Polipropileno a R\$ 39,00/unidade comparativamente com a Ryton cujo custo chega R\$ 189,00/unidade. Estima-se que uma parada do processo produtivo para troca de mangas implique no prejuízo de R\$ 30.000,00 reais no período, conforme a tabela 9.

Tabela 9 - Custo total anual manga Polipropileno e Ryton

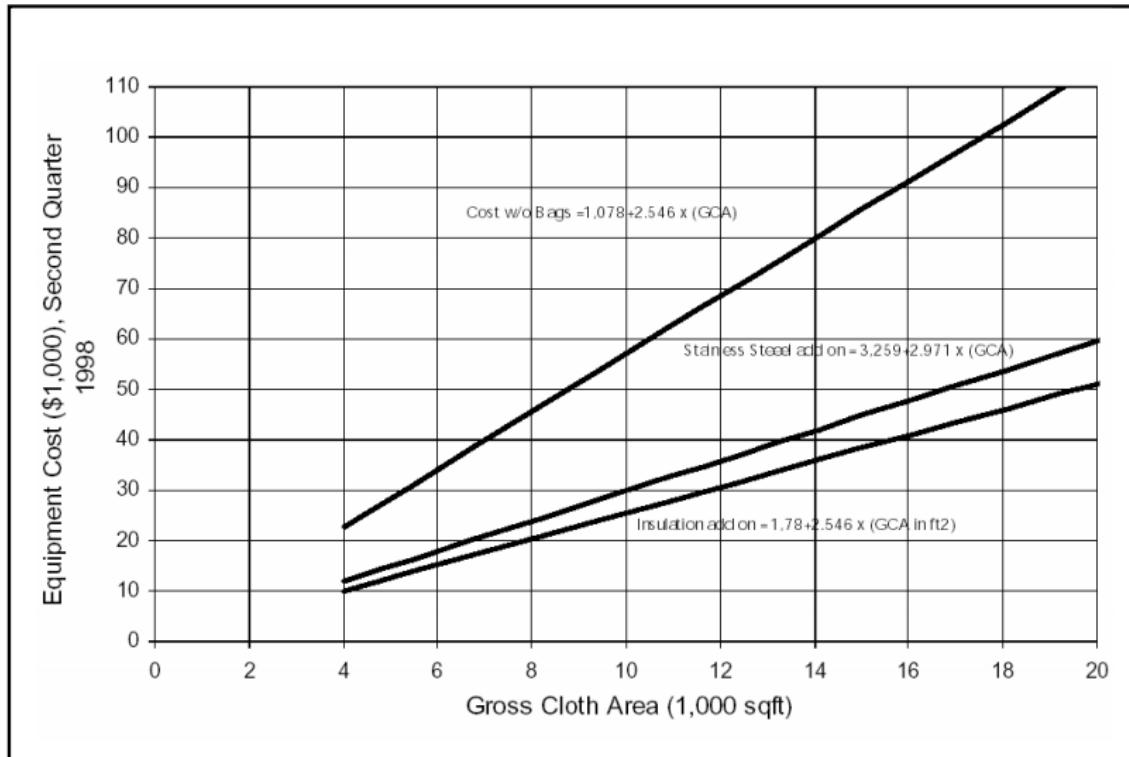
| Material da Manga | Vida-útil (trocas/ano) | Mangas (R\$) | Parada do Processo (R\$) | Custo anual (R\$) |
|-------------------|------------------------|--------------|--------------------------|-------------------|
| Polipropileno | 2 | 7.900 | 2*30.000,00 | 67.900,00 |
| Ryton | 1 | 11.772 | 1*30.000,00 | 41.772,00 |

Fonte: Autoria própria.

Para os custos de instalação de um aparelho tipo filtro manga, levando-se em consideração os dados apresentados pela United States Environmental Protection Agency – EPA⁴, obteve-se os seguintes valores:

⁴ Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttn/catc/products.html#cccinfo>>. Acesso em: 26/03/2018.

Gráfico 2 - Custo de instalação de um Filtro de Mangas



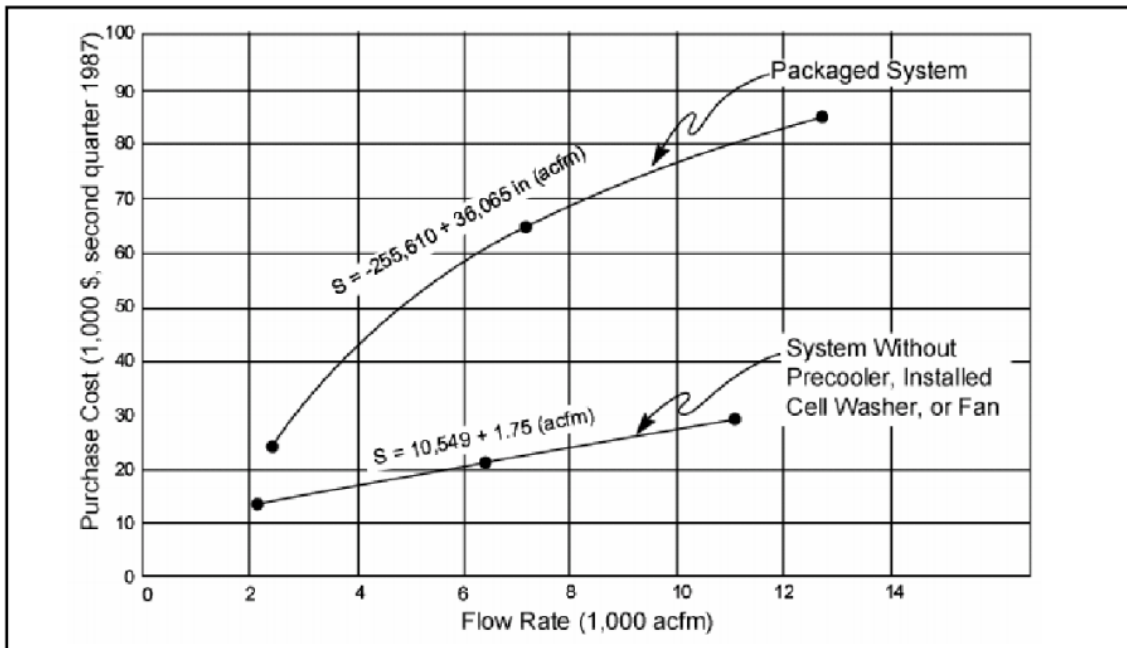
Fonte: EPA (2017).

Aqui, para fins de cálculos de custo de instalação do equipamento Filtro de Mangas, foi considerado um aparelho de aço inoxidável com uma área de tecido para mil e oitocentos metros quadrados com custo total de sessenta mil dólares.

4.5.2.2 Análise do Precipitador Eletrostático

Com base dos dados apresentados pela EPA acerca do custo de equipamentos de controle de poluição do ar, chegou-se aos valores para a instalação de um Precipitador Eletrostático apresentados no Gráfico abaixo.

Gráfico 3 - Custo de instalação de um Precipitador Eletrostático.

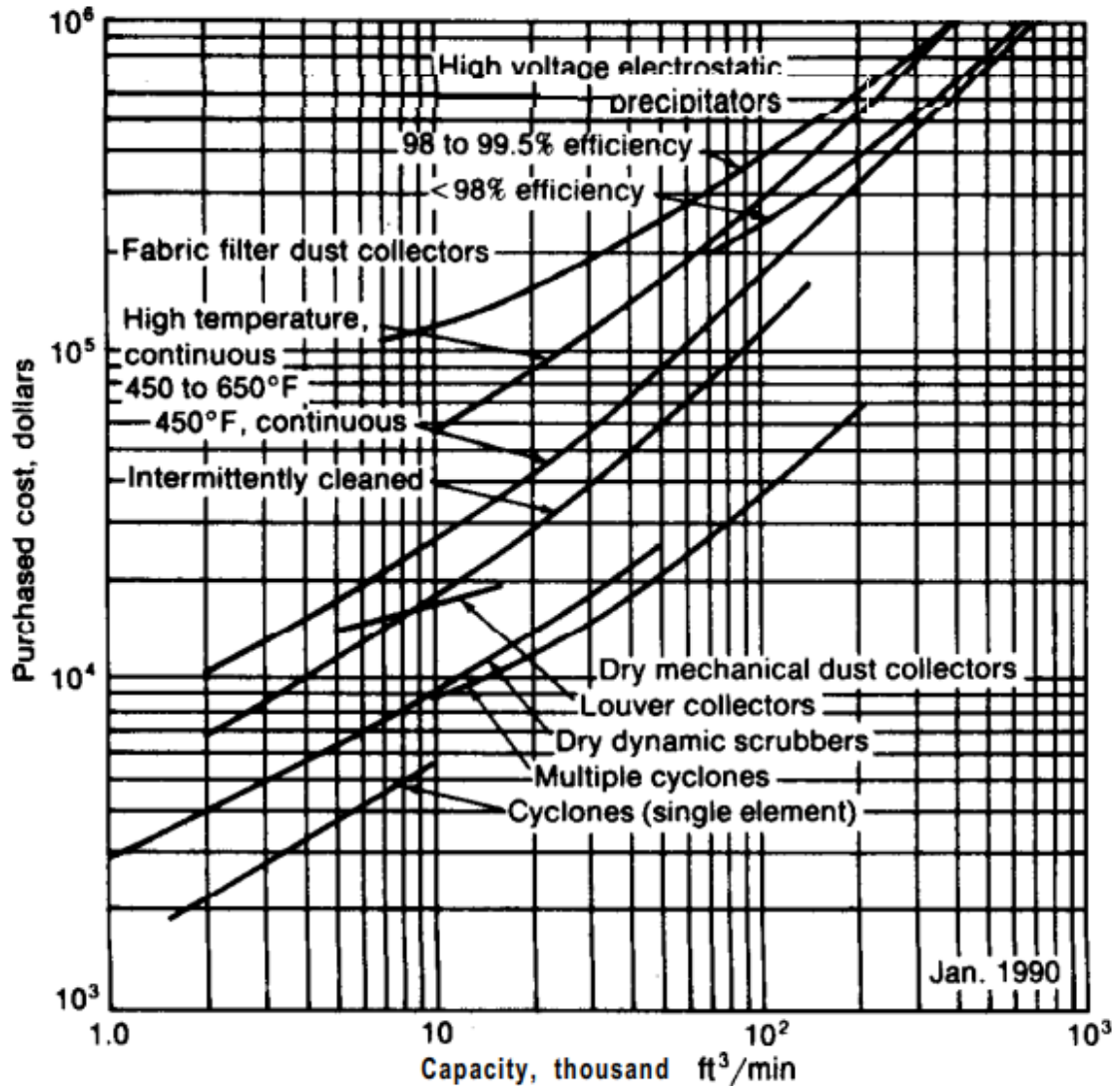


Fonte: EPA (2017).

Nesse cálculo, foi considerado um equipamento com vazão de 18600 metros cúbicos por hora, que, convertidas nas unidades contidas no gráfico, aproxima-se da marca de 11000 pés cúbicos por minutos, chegando-se, assim, a um custo total para a instalação deste aparelho, em oitenta mil dólares.

Com base no gráfico elaborado por Peters, Timmerhaus e West (2003 p. 567), para um precipitador eletrostático, chegou-se aos seguintes valores:

Gráfico 4 - Custo de coletores de pó mecânicos secos, coletores de Precipitadores Eletrostáticos de alta tensão



Para fins de análise, o modelo de Precipitador Eletrostático escolhido foi o seco, cujo princípio de funcionamento é baseado na ionização de partículas por alta tensão e captura pelo campo elétrico originado a partir de tensões que variam entre 20 e 80 Kv.

Para alcançar a margem de eficiência de noventa e oito por cento, levou-se em consideração um Precipitador Eletrostático que apresenta uma vazão de 1700 metros cúbicos por hora. Para obter o valor do custo do equipamento nessa unidade, houve a conversão de medidas para 1000 pés cúbicos por minuto, o que rende 550 mil dólares de custo do equipamento.

4.6 CÁLCULOS DE ENGENHARIA ECONÔMICA

Para a análise de custos e verificação de viabilidade, alguns valores precisam ser levados em consideração como:

- O valor da instalação do processo com equipamento Ciclone;
- O cálculo de rendimento do equipamento Ciclone;
- O valor da instalação do processo com equipamento Filtro Manga;
- O cálculo de rendimento do equipamento Filtro Manga;
- O valor da instalação do processo com equipamento Precipitador Eletrostático;
- O cálculo de rendimento do equipamento Precipitador Eletrostático.

Esses custos darão margem para a implantação, a implementação ou substituição de um equipamento o que pode significar que nem sempre o mais barato pode ser a melhor opção devido ao rendimento e também o tempo de **vida útil**.

4.7 ANALISE GERAL

4.7.1 Considerações iniciais para os cálculos

Os cálculos realizados se baseiam num tempo de atividade de dez anos de uso, onde os equipamentos sofrem desvalorização considerável. Para os cálculos dos rendimentos, foi desconsiderado a granalha perdida por outras formas, como por exemplo: pelos vãos e buracos na cabine.

E o custo do kg da granalha foi estipulado em 0,8 centavos de dólar.

4.7.2 Análise dos custos totais

Tabela 10 - Custos totais do equipamento Ciclone

| Ciclone | Custo |
|---|--------------|
| Custo inicial do equipamento \$ | 6000 |
| Custo de instalação em \$ | 25000 |
| Custo de equipamentos complementares \$ | 6040 |
| Custos totais do equipamento \$ | 37040 |
| Rendimento | 90% |

| | |
|---|-----------------|
| Quantidade necessária para reposição Kg/mês | 500 |
| Quantidade necessária em 10 anos (kg) | 60000 |
| Custo da gralha de jateamento em 10 anos \$ | 48000 |
| Custo operacional por 10 anos \$ | 2430000 |
| Total | \$ 2.515.040,00 |

Fonte: Autoria própria.

- Custo inicial do equipamento: custo do equipamento foi fornecido pela própria empresa;
- Custo de instalação: valor fornecido pela empresa;
- Custo de equipamentos complementares: valores como Coifa da parede, Bomba, Exaustor e tubulações foram fornecidos pela própria empresa;
- Custos totais do equipamento: soma dos valores como custo inicial do equipamento, custo de instalação e custo de equipamentos complementares;
- Rendimento: 90 por cento;
- Quantidade para reposição: 500 kg ao mês de gralha;
- Quantidade necessária em 10 anos: quantidade de gralha necessária em 10 anos de utilização do equipamento;
- Custo operacional por 10 anos: valor total da gralha após 10 anos, utilizando custo operacional médio de 40,5 dólares por kg;
- Custo da gralha de jateamento em 10 anos: custo total da gralha após 10 anos.

Tabela 11 - Custos totais do equipamento Filtro Manga

| Filtro Manga | |
|--|---------------|
| | Custo |
| Custo inicial do equipamento \$ | 40000 |
| Custo de instalação em \$ | 60000 |
| Custo de equipamentos complementares | 5800 |
| Custos totais do equipamento \$ | 105800 |
| Valor do reposição de filtro manga em 10 anos \$ | 417720 |
| Rendimento | 99,55% |
| Quantidade necessária para reposição Kg/mês | 5 |
| Quantidade necessária em 10 anos (kg) | 600 |
| Custo da gralha de jateamento em 10 anos \$ | 480 |
| Custo operacional por 10 anos \$ | 13200 |
| Total | \$ 537.200,00 |

Fonte: Autoria própria.

- Custo inicial do equipamento: custo do equipamento obtido através de gráfico;

- Custo de instalação: valor obtido através de gráfico;
- Custo de equipamentos complementares: valores como Coifa da parede, Exaustor, tubulações e foram utilizados o mesmo do ciclone, valores fornecidos pela própria empresa;
- Custos totais do equipamento: soma dos valores como custo inicial do equipamento, custo de instalação e custo de equipamentos complementares;
- Rendimento: 99,55 por cento;
- Quantidade para reposição: 5 kg ao mês de granalha;
- Quantidade necessária em 10 anos: quantidade de granalha necessária após 10 anos;
- Custo operacional por 10 anos: valor total da granalha após 10 anos, utilizando custo operacional médio de 22 dólares por kg;
- Custo da granalha de jateamento em 10 anos: custo total da granalha após 10 anos.

Tabela 12 - Custos totais do equipamento Precipitador Eletrostático

| Precipitador Eletrostático | |
|---|----------------------|
| | Custo |
| Custo inicial do equipamento \$ | 550000 |
| Custo de instalação em \$ | 80000 |
| Custo de equipamentos complementares | 5800 |
| Custos totais do equipamento \$ | 635800 |
| Rendimento | 98% |
| Quantidade necessária para reposição Kg/mês | 100 |
| Quantidade necessária em 10 anos (kg) | 12000 |
| Custo da granalha de jateamento em 10 anos \$ | 9600 |
| Custo operacional por 10 anos \$ | 252000 |
| Total | \$ 897.400,00 |

Fonte: Autoria própria.

- Custo inicial do equipamento: custo do equipamento obtido através de gráfico;
- Custo de instalação: valor obtido através de gráfico;
- Custo de equipamentos complementares: valores como Coifa da parede, Exaustor e tubulações foram utilizados o mesmo do ciclone, valores fornecidos pela própria empresa;
- Custos totais do equipamento: soma dos valores como custo inicial do equipamento, custo de instalação e custo de equipamentos complementares;
- Rendimento: 98 por cento;
- Quantidade para reposição: 100 kg ao mês de granalha;

- Quantidade necessária em 10 anos: quantidade de granalha necessária após 10 anos;
- Custo operacional por 10 anos: valor total da granalha após 10 anos, utilizando custo operacional médio de 21 dólares por kg;
- Custo da granalha de jateamento em 10 anos: custo total da granalha após 10 anos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou demonstrar (através de pesquisa e da realização de cálculos, uma análise de projeto industrial com equipamentos separadores de material particulado, utilizados no processo de jateamento com granalha), uma projeção do melhor desempenho custo/ benefício para implantação.

Para tanto, critérios como funcionalidade, investimento inicial, custos de manutenção e insumos, foram levados em consideração em uma projeção para um período de dez anos.

Sendo assim, os resultados obtidos indicaram que os custos do projeto contendo o equipamento do tipo Ciclone, se mostrou a melhor opção viável, quando a indústria não apresenta potencial para a realização de grandes investimentos iniciais com tratadores de particulados. Entretanto, comprovou que, a longo prazo, esse equipamento é o responsável pelo aumento de custos na empresa, especialmente para a sua manutenção.

Outra desvantagem atribuída ao Ciclone por meio desta pesquisa, é que ele apresenta baixa eficiência na retenção de partículas menores que 5 micrometros - o que mesmo não sendo quantificado neste trabalho - representa uma parcela significativa de resíduo resultante do processo industrial. Em contrapartida a essa “desvantagem” competitiva de desempenho, o equipamento Ciclone, apresenta um sistema de lavagem que, acaba auxiliando o seu rendimento final.

Não obstante a isso, observou-se por meio da pesquisa também, que o equipamento Ciclone confere resistência ao efeito corrosivo dos materiais metálicos utilizados no processo de tratamento, ao mesmo tempo que oferece baixa resistência a abrasão, efeito de maior intensidade no trabalho com o resíduo de granalha.

Em relação ao Filtro Manga, verificou-se que os valores de eficiência chegam a 99,55 por cento. Os cálculos que demonstraram este resultado, foram baseados no valor total do equipamento e a reposição de granalha de forma contínua, para se chegar a um valor de rendimento para dez anos de atividade. Com base no resultado, pode-se verificar que este equipamento foi o que apresentou o menor custo, dentre os avaliados nesse trabalho.

Aqui, cadê salientar também que, assim como o Ciclone, o Filtro Manga também se mostra bastante resistente a corrosão, ao mesmo tempo que demonstra ser pouco resistente aos efeitos da abrasividade gerada pelas partículas de granalha utilizadas.

Mais um contraponto ao Filtro Manga, identificado através da pesquisa, são as dimensões desse equipamento, já que o mesmo demanda de um bom espaço para a sua instalação. Fato este, que eleva seu custo inicial (de implantação) comparativamente ao primeiro equipamento analisado.

O item que mais impacta nos custos de manutenção do Filtro Manga são as mangas, que precisam periodicamente serem substituídas devido aos impactos sofridos durante as sucessivas filtragens. Nesse aspecto, observou-se que a manga de Ryton apresentou avaliações de desempenho entre “excelente” ou “muito bom”, nos quesitos resistência da tração, abração, ácidos e álcalis, funcionamento em alta temperatura e, portanto, foi a que melhor contribui para a economia da indústria, pois a quantidade de pausas e trocas realizar durante o ano, com a adoção desse tipo de manga, acaba sendo menor.

Já o último equipamento analisado - o Precipitador Eletrostático – demonstrou uma leve vantagem quanto a eficiência na contenção de partículas pequenas (o que o Ciclone e o Filtro Manga conseguem realizar de maneira quase equitativa). Além do mais, o custo de operação e manutenção são quase similares ao do Filtro Manga e, menor que o Ciclone com umidificação.

Portanto, a análise realizada comparativamente dos custos e vantagens de implantação de cada equipamento industrial, para tratamento de resíduos particulados oriundos do processo de jateamento com granalha, possibilitou identificar que o Filtro Manga, apresenta um diferencial de performance e rendimento.

A pesquisa conseguiu identificar ainda, que mudanças na estrutura do equipamento Ciclone, como a realização de melhorias no isolando da câmara e utilidades que transportam a granalha, diminuem a perda de material, resultando em uma maior economia com matéria-prima.

REFERENCIAS

Bernauer. Disponível em: <<http://www.bernauer.com.br>>. Acesso em: 26/03/2018 as 15:18.

Beckins Filtros Industriais. Disponível em: <<http://www.beckins.com.br>>. Acesso em: 26/03/2018 as 16:47.

Como obter o rendimento máximo dos filtros mangas? Disponível em: <<https://www.quimica.com.br/filtros-de-manga-como-obter-o-rendimentomaximo-dos-filtros-de-manga/5/>>. Acesso em: 18/03/2018 as 19:05.

COOPER, C.D.; ALLEY, F.C. **Air Pollution Control: A design approach.** 3º Ed. Waveland: Long Grove, Illinois, 2011.

CORROSÃO em estruturas metálicas. Paraná, [200-?]. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/metallica/patologias/corrosao.htm>> Acesso em: 19/03/2018 as 11:38.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.** Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União República Federativa do Brasil. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/leis/L9605.htm>. Acesso em: 20/04/2018.

_____. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União República Federativa do Brasil. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 20/04/2018.

DAL-FARRA, Rossano André Paulo; LOPES, Tadeu Campos. **Métodos Mistos de Pesquisa em Educação: pressupostos teóricos.** Nuances: estudos sobre Educação. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/Nuances/article/view/2698>>. Acesso em: 30/03/2018 as 12:17.

Datasilos. Disponível em: <<http://www.datasilos.ind.br>>. Acesso em: 26/03/2018 as 17:08.

DENCKER, Ada de Freitas Maneti. **Métodos e Técnicas de Pesquisa.** São Paulo: Futura, 1998.

DERBYSHIRE, E. Natural Aerosolic Mineral Dusts and Human Health. *In:* Selinus, B., Alloway, B., Centeno, J.A., Finkelman, R.B., Ruge, R., Lindh, U., Smedley, P. (Eds.),

Essentials of Medical Geology. Elsevier Academic Press, London, p. 459–480 (Chapter 18), 2005.

DULLIEN, F. A. L., **Introduction to Industrial Gas Cleaning**, Academic Press, Inc. San Diego, 1989. 285 p.

Eco Tech System. Disponível em: <<http://www.ecotechsystem.com.br>>. Acesso em 26/03/2018 17:35.

Estudo de Viabilidade Técnica e economica da Substituição ou Reforma de Sistema de Filtragem: estudo de caso. Disponível em: <http://www.engenhariamecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2008-2- karla_dubberstein_tozetti.pdf>. Acesso em: 29/03/2018 as 14:36.

EPA - United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <<https://www.epa.gov/catc/clean-air-technology-center-products>>. Acesso em: 26/03/18.

Equipamentos de controle de ar. Disponível em: <[http://www.inf.ufes.br/~neyval/Rec_Atm\(moduloVI\).pdf](http://www.inf.ufes.br/~neyval/Rec_Atm(moduloVI).pdf)>. Acesso em: 17/03/2018 as 9:13.

FALAGUASTA, M. C. R. **Estudo do Desempenho de um Precipitador Eletrostático Operando na Captura de Partículas Submicrométricas e Nanométricas.** Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos: São Carlos - SP, 2005. 305 p.

Filtros de manga: como obter rendimento máximo. Disponível em: <<https://www.quimica.com.br/filtros-de-manga-como-obter-o-rendimento-maximo-dos-filtros-de-manga/5/>>. Acesso em: 19/03/2018.

GENTIL, Vicente. **Corrosão** – 3 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996.

Jateamento. Disponível em: <<http://www.aprietojato.com.br/jateamento/escolha-do-bico-de-jateamento/valores-em-torno-de-100-PSI-para-jateamento-industrial>>. Acesso em: 18/03/2018.

JUNIOR, C. J., **Avaliação do Desempenho de um Ciclone Stairmand Adaptado com Bicos Injetores de Água.** Dissertação: UFSCar, 2014.

LAKATOS, E. M. MARCONI, M. de A. **Técnicas de pesquisa.** 3 ed. São Paulo: Editora Atlas, 1996.

_____. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2010.
LISBOA, H.M. **Metodologia de Controle da Poluição Atmosférica**. Unidade VII: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

MASSARANI, G. **Desempenho de Ciclones e Hidrociclones**, 1992.

MINAYO, Maria Cecília de Souza (org.). **Pesquisa Social: Teoria, método e criatividade**. 18 ed. Petrópolis: Vozes, 2001.

MIZUNO, A., **Electrostatic Precipitators**, **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, v. 7 n° 5, 2000, p. 615-624.

MUNGER, C. G., **Corrosion Prevention by Protective Coatings**. 2° ed: Houston, NACE, 1999.

PARKER, K. R. **Applied Electrostatic Precipitation**: Champman & Hall, 1997 521 p.

Patentes Online. Disponível em: <<http://www.patentesonline.com.br>>. Acesso em: 26/03/2018, 17:55.

PERINI, R. **O uso da difração de raios X para determinação da tensão residual induzida pelo processo de roleteamento em uma camisa de cilindro de motor diesel**. Dissertação: IPEN/USP, 2008.

PETERS, Max S.; Klaus D. TIMMERHAUS; Ronald E. WEST. **Plant Design and Economics for Chemical Engineers**: McGraw-Hill Education, 2003 p. 567.

PIMENTEL, D.; COOPERSTEIN, S.; RANDELL, H.; FILIBERTO, D.; SORRENTINO, S.; KAYE, B.; *et al.* **Ecology of Increasing Diseases**: population growth and environmental degradation: *Human Ecology*, v.35 (6), 2007.

Precipitador Eletrostático Seco. Disponível em: <<http://www.cranfos.com.br/equipamentos/despoeiramento/precipitador-eletrostatico-seco.html>>. Acesso em: 18/03/2018 as 13:30.

SCHENELLE, K. B.; BROWN, C.A. **Air Pollution Control Technology Handbook**. Ed: CRC Press LLC. Nova York, 2002.

SCHULZE, V. **Modern mechanical surface treatment: states, stability, effects.** *Weinheim: Wiley-VCH*, 2006, cap. 1-3.

Sinto. Disponível em: <<http://www.sinto.com.br>>. Acesso em: 26/03/2018 as 18:15

Sitape Engenharia do Ambiente. Disponível em: <<http://www.sitape.pt>> Acesso em: 26/03/2018 às 18:32.

Sorbacal. Disponível em: <https://www.sorbacal.com/lat_pt/processoumido#!/depurador-porviaúmida>. Acesso em: 26/03/2018 as 19:39.

TORRES, OSWALDO F. **Fundamentos da Engenharia Econômica e da Análise Econômica de projetos.** São Paulo: Thomson Learning, 2006.

WALAS, Stansley M. **Chemical Process Equipment Selection and Design** – 3 ed. Department of Chemical and Petroleum Engineering University of Kansas, 2010.

ZHUANG, Y; KIM, Y. J.; LEE, T. G.; BISWAS, P. **Experimental and Theoretical Studies of Ultrafine Particle Behavior in Electrostatic Precipitators**, *Journal of Electrostatics*, v. 48, 2000, p. 245-260.

ZURAIMI, M. S., THAM, K. W. **Reducing Particle Exposures in a Tropical Office Building Using Electrostatic Precipitators:** *Building and Environment*, 2009.